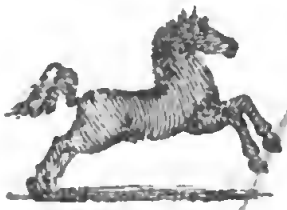
FONDO PIZZOFALCONE

BIBLIOTECA PROVINCIALE

Armadio XXXI

Palchetto

Num.° d' ordine 43



NAZIONALE

B. Prov.

J

2492

NAPOLI

VITT. EM. III

5 - A 36

B. Prov.
I
2492

SULLA CONNESSIONE

DELLE

SCIENZE FISICHE.

DELLA STESSA AUTRICE.

GEOGRAFIA FISICA.

Seconda edizione italiana
rivista ed aumentata conformemente alla quarta edizione inglese.

Due Volumi.

C0871h

SULLA CONNESSIONE

DELLE

SCIENZE FISICHE

DI

MARIA SOMERVILLE.

TRADUZIONE FATTA SULLA NONA EDIZIONE INGLESE.

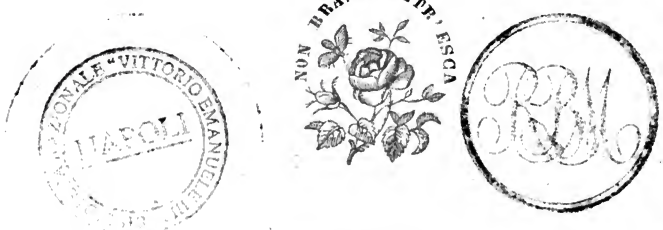
—

VOLUME UNICO

CON INCISIONI IN LEGNO E TAVOLE.

—

« Nessun fenomeno naturale può essere adequatamente studiato da sè solo; ma per essere inteso dev' essere considerato in rapporto con tutta la natura. » — BACONE.



FIRENZE,

G. BARBÈRA, EDITORE.

—

1861.

QUESTO LIBRO È DEDICATO

AI

SUOI CARI FIGLI

DALL' AFFEZIONATA LORO MADRE

MARIA SOMERVILLE.

Firenze, 1 Novembre 1858.

PREFAZIONE.

Offerendo al pubblico una nuova edizione della *Connessione tra le Scienze Fisiche,* ho procurato di dimostrare il progresso ch' esse hanno fatto, e i grandi mutamenti che in questi ultimi anni la filosofia sperimentale ha introdotti nella storia delle ricerche fisico-matematiche. A cagione della dimora fuori del mio paese, sono stata priva di molti aiuti e informazioni che potevo avere dai miei dotti amici d' Inghilterra, i quali avrebbero potuto giovarmi di più in altre circostanze. Per questo stesso motivo posso non aver spiegato alcune materie con tutta quella chiarezza che in caso diverso avrei potuto fare. Si potrà forse dire che io ho accettate talune idee e nuovi principii prima che essi siano stati ben stabiliti: se fosse così, mi scuserei col dire che ho la convinzione che essi alla perfine prenderanno il posto che ho loro designato nella storia della scienza.

Firenze, 1 novembre 1858.

SOMMARIO.

SEZIONE I.

Attrazione d' una sfera — Forma dei corpi celesti — La gravitazione terrestre ritiene la luna nella sua orbita — I corpi celesti si muovono in sezioni coniche — La gravitazione è proporzionale alla massa — Gravitazione delle particelle della materia — Figura dei pianeti — Come questa abbia influenza nei movimenti dei loro satelliti — Rotazione e traslazione impresse dall' impulso stesso — Moto del sole, e sistema solare. . . . . Pag. 5

SEZIONE II.

Movimento elittico — Movimento medio e vero — Cerchio equinoziale — Eclittica — Equinozi — Longitudine media e vera — Equazione del centro — Inclinazione delle orbite dei pianeti — Latitudine celeste — Nodi — Elementi d' un' orbita — Orbite non disturbate o elittiche — Grande inclinazione delle orbite dei nuovi pianeti — Gravitazione universale, causa delle perturbazioni nei movimenti dei corpi celesti — Problema dei tre corpi celesti — La stabilità del sistema solare dipende dal momento primitivo dei corpi. • 10

SEZIONE III.

Perturbazioni periodiche e secolari — Azione perturbatrice che equivale a tre forze parziali — Forza tangenziale, causa delle disuguaglianze periodiche nella longitudine e delle disuguaglianze secolari nella forma e posizione dell' orbita nel suo proprio piano — Forza radiale, causa delle variazioni nella distanza del pianeta dal sole — Essa si combina colla tangenziale per produrre le variazioni secolari nella forma e nella posizione dell' orbita nel suo piano — Forza perpendicolare, causa delle perturbazioni periodiche della latitudine e delle secolari variazioni nella posizione del-

orbita riguardo al piano dell'eclittica — Movimento medio ed asse maggiore invariabile — Stabilità del sistema — Effetti d'un mezzo resistente — Piano invariabile del sistema solare e dell'universo — Disuguaglianza grande di Giove e di Saturno. . . . . Pag. 15

SEZIONE IV.

Teoria dei satelliti di Giove — Effetti della configurazione di Giove sopra i suoi satelliti — Posizione delle loro orbite — Leggi singolari dei movimenti dei primi tre satelliti — Eclissi dei satelliti — Velocità della luce — Aberrazione — Mezzo etereo — Satelliti di Saturno e di Urano. . . . . » 33

SEZIONE V.

Teoria lunare — Perturbazioni periodiche della luna — Equazione del centro — Evezione — Variazione — Equazione annuale — Azione diretta e indiretta dei pianeti — L'azione della luna sulla terra disturba il movimento di quella — Eccentricità ed inclinazione dell'orbita della luna invariabile — Accelerazione — Variazione secolare nei nodi e nel perigeo — Movimento dei nodi e del perigeo connesso inseparabilmente con l'accelerazione — Nutazione dell'orbita lunare — Forma e struttura interna della terra determinata da quelle — Eclissi lunare, solare e planetare — Occultazioni e distanze lunari — Distanza media del sole dalla terra ottenuta dalla teoria lunare — Come si ritrovano le distanze assolute dei pianeti . . . . . » 42

SEZIONE VI.

Forma della terra e dei pianeti — Figura d'una sferoide omogenea in rotazione — Figura d'una sferoide di densità variabile — Figura della terra supponendo che sia un'elissoide di rivoluzione — Misura d'un grado del Meridiano — Compressione e grandezza della terra data dai gradi del meridiano — Figura della terra data dal pendolo . . . . . » 55

SEZIONE VII.

Parallasse — Parallasse lunare ritrovata col mezzo della osservazione diretta — Parallasse solare dedotta dal passaggio di Venere — Distanza del sole dalla terra — Parallasse annuale — Distanza delle stelle fisse . . . . . » 65

SEZIONE VIII.

Le masse dei pianeti, che non hanno satelliti, determinate dalle loro perturbazioni — Masse degli altri ottenute dai moti de' loro satelliti — Masse del sole, della terra, di Giove e del sistema di Giove — Massa della luna — Come si ottengono diametri reali dei pianeti — Grandezza del sole, densità dei corpi celesti — Formazione delle tavole astronomiche — Dati che si richieggono e mezzi per ottenerle . . . . . Pag. 69

SEZIONE IX.

Rotazione del sole e dei pianeti — Anelli di Saturno — Periodi della rotazione della luna e degli altri satelliti, eguali ai periodi delle loro rivoluzioni — Forma della sferoide lunare — Librazione, aspetto e costituzione della luna — Rotazione dei Satelliti di Giove . . » 81

SEZIONE X.

Rotazione invariabile della terra — Diminuzione della media temperatura terrestre — La terra in origine allo stato di fusione — Lunghezza costante del giorno — Diminuzione della temperatura attribuita da Giovanni Hersehel alla variazione nell' eccentricità dell' orbita terrestre — Differenza nella temperatura de' due emisferi erroneamente ascritta all'eccesso in lunghezza della primavera e dell' estate nell'emisfero australe: attribuita da Carlo Lyell all' effetto delle cause esistenti — Tre assi principali di rotazione — Posizione invariabile dell'asse di rotazione sulla superficie della terra — L' oceano insufficiente a ristorare l'equilibrio della terra, se disordinato — Densità di esso e profondità media — Struttura interna della terra. . » 89

SEZIONE XI.

Precessione e nutazione — Loro effetti sulle apparenti situazioni delle stelle fisse . . . . . » 98

SEZIONE XII.

Tempo sidereo medio ed apparente — Tempo solare medio ed apparente — Equazione del tempo — Suddivisione inglese e francese del tempo — Anno bisestile — Era cristiana — Tempo equinoziale — Ere rimarcabili dipendenti dalla posizione del perigeo solare —

Ineguaglianza delle lunghezze delle stagioni nei due emisferi — Applicazione dell'astronomia alla cronologia — Campioni di pesi e di misure inglesi e francesi. . . . . Pag. 102

SEZIONE XIII.

Maree — Forze che le producono — Origine e corso dell'onde della marea — Sua velocità — Tre sorta d'oscillazioni nell'oceano — Le maree semidiurne — Marea equinoziale — Effetti della declinazione del sole e della luna — La teoria è insufficiente senza la osservazione — Direzione dell'onde della marea — Altezza delle maree — Massa della luna ottenuta dall'azione di lei sulla marea — Interferenza delle ondulazioni — Impossibilità di una inondazione universale — Correnti . . . . . » 112

SEZIONE XIV.

Forze molecolari — Permanenza degli ultimi atomi della materia — Interstizi — Teoria di Mossotti — Teoria dei vortici molecolari di Rankin — Gas ridotti allo stato liquido per mezzo della pressione — Gravitazione degli atomi — Coesione — Cristallizzazione — Clivaggio — Isomorfismo — Minutezza degli atomi — Altezza dell'atmosfera — Affinità chimica — Proporzioni definite e relativi pesi degli atomi — Scoperte di Faraday rispetto all'affinità — Attrazione capillare. . . . . » 126

SEZIONE XV.

Analisi dell'atmosfera — Pressione atmosferica — Legge della diminuzione della densità — Legge della diminuzione di temperatura — Misura delle altezze per mezzo del barometro — Estenzione dell'atmosfera — Variazioni barometriche — Oscillazioni — Venti Alisei — Mussoni — Rotazione de' venti — Leggi degli uragani. . . . . » 144

SEZIONE XVI.

Suono — Propagazione del suono spiegata per mezzo d'un campo di spighe di grano in piedi — Natura delle onde — Propagazione del suono nell'atmosfera — Intensità — Rumori — Suono musicale — Qualità — Altezza — Estensione dell'udito umano — Velocità del suono nell'aria, nell'acqua e nei solidi — Cause di ostacolo pel suono — Legge dell'intensità del suono — Riflessione del suono — Eco — Tuono — Rifrazione del suono — Interferenza dei suoni. » 159

SEZIONE XVII.

Vibrazione delle corde musicali — Suoni armonici — Nodi — Vibrazioni dell'aria negli istromenti a vento — Vibrazione dei solidi — Lastre vibranti — Campane — Armonia — Tavole armoniche — Vibrazioni sforzate — Risuonanza — Macchine parlanti. . . Pag. 173

SEZIONE XVIII.

Refrazione — Refrazione astronomica e sue leggi — Formazione delle tavole di refrazione — Refrazione terrestre — Sua quantità — Esempi di refrazione straordinaria — Riflessione — Esempi di riflessione straordinaria — Perdita di luce per il potere assorbente dell'atmosfera — Grandezza apparente del sole e della luna all'orizzonte. . . . . » 189

SEZIONE XIX.

Costituzione della luce secondo Isacco Newton — Assorbimento della luce — Colori dei corpi — Costituzione della luce secondo Brewster — Nuovi colori — Linee oscure di Fraunhoffer — Dispersione della luce — Telescopio acromatico — Luce omogenea — Colori accidentali e complementari — Esperimenti e teoria dei colori accidentali di M. Plateau . . . . . » 196

SEZIONE XX.

Interferenza della luce — Teoria delle ondulazioni della luce — Propagazione della luce. — Anelli di Newton — Misura della lunghezza delle onde luminose e della frequenza delle vibrazioni dell'etere per ogni colore — Scala dei colori di Newton — Diffrazione della luce — Teoria dell'assorbimento della luce di Sir J. Herschel — Refrazione e riflessione della luce. . . . . » 206

SEZIONE XXI.

Polarizzazione della luce — Definizione — Polarizzazione per rifrazione — Proprietà della Tormalina — Refrazione doppia — Ogni luce doppiamente refratta è polarizzata — Proprietà dello spato d'Islanda — La tormalina assorbe uno dei due raggi refratti — Ondulazioni della luce naturale — Ondulazioni della luce polarizzata — Assi ottici dei cristalli — Scoperte di Fresnel sui raggi che passano lungo gli assi ottici — Polarizzazione per riflessione. . . . » 221

SEZIONE XXII.

Fenomeni presentati dal passaggio della luce polarizzata a traverso la mica ed il solfato di calce — Immagini colorate prodotte dalla luce polarizzata che passa a traverso i cristalli a uno e a due assi ottici — Polarizzazione circolare — Polarizzazione ellittica — Scoperte di Biot, Fresnel, ed Airy — Immagini colorate prodotte dall'interferenza dei raggi polarizzati — Fluorescenza . . . . Pag. 231

SEZIONE XXIII.

Obbiezioni rimosse alla teoria delle ondulazioni tratte dalla differenza nell'azione del suono e della luce sotto le stesse circostanze — Dispersione della luce secondo la teoria delle ondulazioni — Prova finale di Arago, che la teoria delle ondulazioni è legge di natura. » 247

SEZIONE XXIV.

Raggi chimici o fotografici dello spettro solare — Scoperte di Scheele, Ritter e Wollaston — Disegni fotografici di Wedgwood e Davy — Calotipo — Dagherrotipo — Cromatipo — Cianotipo — Collodione — Scoperte di Herschel nello spettro chimico — Scoperte di E. Becquerel delle linee inerti nel medesimo. Spettro termico — Spettro fosforico — Proprietà elettriche — Raggi paratermici — Esperimenti di Moser e di Hunt — Struttura generale, proprietà antagonistiche dello Spettro Solare — Spettro defratto . . . . . » 252

SEZIONE XXV.

Grandezza e costituzione del sole — Macchie solari — Intensità della luce solare e del calore — Atmosfera del sole — Influenza di esso sui pianeti — Atmosfera dei pianeti — La luna non l'ha — Calore lunare — Telescopi differenziali — Temperature dello spazio — Calore interno della terra — Zone di costante temperatura — Aumento del calore con la profondità — Calore centrale — Azione vulcanica — Quantità di calore ricevuta dal sole — Linee isogeotermiche — Linea di congelazione perpetua — Climi — Linee isotermiche — La stessa quantità di calore nell'anno ricevuta e irradiata dalla terra . . . » 279

SEZIONE XXVI.

Influenza della temperatura sulla vegetazione — La vegetazione varia con la latitudine e l'altezza sul mare — Distribuzione geografica delle

piante terrestri — Distribuzione delle piante marine — Coralline — Animali a conchiglia — Rettili — Insetti — Uccelli e Quadrupedi — Varietà dell'umana razza, e non di meno identità della specie. Pag. 309

SEZIONE XXVII.

Calore terrestre — Irradiazione — Trasmissione del calore — Esperimenti del prof. Melloni — Calorico dello Spettro solare — Polarizzazione del calorico — Natura del calorico — Assorbimento — Rugiada — Pioggia — Combustione — Espansione — Compensazione del Pendolo — Trasmissione attraverso il cristallo — Propagazione — Teoria dinamica del calorico — Equivalente meccanico del calorico — Il calorico latente è la forza dell' espansione — Vapore — Lavoro fatto dal calorico — Conservazione della forza — Potere meccanico delle Maree — Potere dinamico della luce — Analogia tra la luce, il calore, e il suono. . . . . » 320

SEZIONE XXVIII.

Elettricità statica o elettricità di tensione — Potere doppio — Metodi per eccitarlo — Attrazione e ripulsione — Conduzione — Elettrici e non elettrici — Induzione — Dielettrici — Tensione — Legge della forza elettrica — Distribuzione — Leggi della distribuzione — Calore dell' elettricità — Luce elettrica e suo spettro — Velocità — Elettricità atmosferica — Sua causa — Nubi elettriche — Effetti violenti del fulmine — Colpo di ritorno — Luce elettrica — Fosforescenza. » 353

SEZIONE XXIX.

Elettricità voltaica — Batteria di Volta — Intensità — Quantità — Elettricità statica e elettricità dinamica — Effetti luminosi — Arco e luce elettrica del signor Grove — Decomposizione dell' acqua — Formazione dei cristalli per mezzo dell' elettricità voltaica — Incisione foto-galvanica — Conducibilità — Calore dell' elettricità voltaica. — Pesci elettrici . . . . . » 372

SEZIONE XXX.

Scoperta dell' elettro-magnetismo — Declinazione dell' ago magnetico per mezzo di una corrente elettrica — Direzione della forza — Movimento rotatorio operato dalla elettricità — Rotazione di un filo metallico e d' una calamita — Rotazione d' una calamita attorno al suo asse — Rotazione del mercurio e dell' acqua — Cilindro elettro-magnetico od elice — Sospensione di un ago nell' elice — Induzione elettro-magnetica — Calamita temporaria — Galvanometro . . . . . » 391

SEZIONE XXXI.

Elettro-dinamica — Azione reciproca delle correnti elettriche — Identità dei cilindri elettro-dinamici e delle calamite — Differenza fra l'azione dell'elettricità voltaica e quella di tensione — Effetti d'una corrente voltaica — Teoria di Ampère — Esperimento di Faraday nell'elettrizzare e nel magnetizzare un raggio di luce . . . . . Pag. 396

SEZIONE XXXII.

Elettro-magnetismo — Induzione elettro-dinamica — Induzione elettro-magnetica — Identità dell'azione elettrica e magnetica — Descrizione d'un apparecchio elettro-magnetico e suoi effetti — Identità del magnetismo e dell'elettricità — Telegrafo sotto marino. . . . . » 403

SEZIONE XXXIII.

Elettricità prodotta dalla rotazione — Direzione delle correnti — Elettricità prodotta dalla rotazione d'una calamita — Spiegazione dell'esperimento di Arago — Rotazione d'una lamina di ferro fra i poli d'una calamita — Triplice relazione delle sostanze colle calamite — Termo-elettricità . . . . . » 412

SEZIONE XXXIV.

Il magnetismo è una forza dupla — Carattere contrapposto del paramagnetismo e del diamagnetismo — La terra è paramagnetica — Proprietà dei corpi paramagnetici — Polarità — Induzione — Linee di forza magnetica — Correnti di elettricità indotte da esse — È dimostrato che sono curve chiuse — Analogia ed identità dell'elettricità e del magnetismo — Magnetismo terrestre — Valori medii dei tre elementi magnetici — Loro variazioni in progressione dupla dimostrate consistere di due variazioni sovrapposte — Scoperta della periodicità delle tempeste magnetiche — Il periodo decennale degli elementi magnetici è il medesimo di quello delle macchie solari — Magnetismo atmosferico — Diamagnetismo — Azione differentissima di elettro-magnetismo sui corpi paramagnetici, diamagnetici, e sul rame — Prova della polarità diamagnetica e d'induzione — Azione magneto-cristallina — Effetti della compressione, calore e clivaggio sui corpi magnetici — Mutua dipendenza fra luce, calore, elettricità ec. ec. — La conservazione della forza e la permanenza della materia primitiva sono leggi di natura — Definizione della gravità discorde da questa legge — La gravità è solo una forza residuale di una forza universale — Magnetismo del mezzo etereo. . . . . » 419

SEZIONE XXXV.

Mezzo etereo — Comete — Non perturbano il sistema solare — Loro orbite e perturbazioni — La Cometa di Faye, probabilmente è la stessa di quella di Lexel — Periodi conosciuti di altre tre — Accelerazione nei moti medii delle Comete di Encke e di Biela — L'urto d'una Cometa — Azione perturbatrice della terra e dei pianeti sulle Comete di Encke e di Biela — Velocità delle Comete — La Cometa del 1264 — La gran Cometa del 1843 — Costituzione fisica — Splendore per luce non propria — Loro numero. Pag. 449

SEZIONE XXXVI.

Stelle fisse — Loro numero — Via lattea — Stelle doppie — Sistemi binarii — Loro orbite — Tempi periodici — Colori delle stelle — Stelle scomparse — Stelle variabili — Variazione nella luce solare — Parallasse e distanza delle stelle fisse — Masse delle stelle — Luce comparativa delle stelle — Movimenti propri delle stelle — Movimenti apparenti delle stelle — Movimento e velocità del sole e del sistema solare — Nebulose — Loro numero — Loro catalogo — Sono di due classi — Nebulose diffuse — Nebulose definitivamente formate — Gruppi globulari di stelle — Splendore della via lattea — Distribuzione delle nebulose — Nubi magellaniche — Nebulose attorno η di Argo — Costituzione delle nebulose e forze che le mantengono — Meteoroliti — Stelle cadenti . . . . . • 482

SEZIONE XXXVII.

Diffusione della materia nello spazio — Gravitazione — Sua velocità — Semplicità delle sue leggi — Gravitazione indipendente dalla grandezza e dalla distanza dei corpi — Non è impedita dall'intervento di alcuna sostanza — Sua intensità invariabile — Leggi generali — Ricapitolazione e Conclusione . . . . . • 531

Note . . . . . • 541

Indice delle cose notabili nel volume . . . . . • 597

DELLA CONNESSIONE

DELLE

SCIENZE FISICHE.

DELLA CONNESSIONE

DELLE SCIENZE FISICHE.

INTRODUZIONE.

La scienza, riguardata come la ricerca della verità deve sempre fornire un' occupazione della più alta importanza ed un argomento di profonda meditazione. Il contemplare l' opera del creato innalza la mente all' ammirazione di quanto vi ha di grande e di nobile, soddisfacendo allo scopo d' ogni studio, che nell' eloquente linguaggio di sir James Mackintosh « è l'inspirazione dell' amor del vero, della sapienza, della bellezza, specialmente della bontà, la bellezza più sublime, e di quella suprema ed eterna Mente che contiene ogni verità e sapienza, ogni bellezza e bontà. Per l' amore o per la deliziosa contemplazione e la ricerca di questi fini trascendentali, solo per loro amore, la mente dell' uomo è sollevata dagli oggetti bassi e perituri, ed è trasportata a quegli alti destini che sono stabiliti per tutti quelli che ne sono capaci. »

L' astronomia somministra l' esempio più luminoso della connessione delle scienze fisiche. In essa sono combinate le scienze di numero e di quantità, di quiete e di moto. Per essa ci è dato osservare l' azione d' una forza che ha luogo in tutto ciò che esiste nei cieli e nella terra, che invade ogni atomo, dà leggi ai movimenti degli esseri animati ed inanimati, ed è sensibile così nella caduta d' una gocciola di pioggia, come nella cascata di Niagara;

nel peso dell'aria, come nei periodi della luna. La gravitazione non solo lega i satelliti al loro pianeta ed i pianeti al sole, ma essa unisce sole con sole attraverso l'ampia estensione delle cose create, ed è la causa delle perturbazioni egualmente che dell'ordine della natura: giacchè qualunque tremore essa ecciti in alcun pianeta, egli è immediatamente trasmesso ai limiti più remoti del sistema, in oscillazioni che corrispondono nei loro periodi colla causa che le produce, come le note simpatiche nella musica o le vibrazioni dei bassi toni di un organo.

I cieli somministrano il soggetto più sublime di studio che può derivare dalla scienza. La grandezza e lo splendore degli oggetti, la velocità inconcepibile con che si muovono e le reciproche distanze enormi, imprimono nella mente qualche idea dell'energia che li mantiene nei loro movimenti con una perseveranza alla quale noi non possiamo vedere limite alcuno. Egualmente splendida è la bontà della grande Causa Prima nell'avere dotato l'uomo di facoltà per le quali egli non solo può apprezzare la magnificenza delle opere di Lei, ma tracciare con precisione l'effetto delle sue leggi, servirsi del globo che abita come d'una base da misurare la grandezza e la distanza del sole e dei pianeti, e fare del diametro (Nota 1) * dell'orbita della terra il primo gradino d'una scala da potere salire allo stellato firmamento. Queste ricerche mentre nobilitano la mente, inculcano nel tempo stesso l'umiltà, mostrando che vi è una barriera la quale nessuno sforzo intellettuale o fisico può abilitare a trascendere; che quantunque noi possiamo penetrare profondamente gli alti recessi dello spazio, sempre vi rimangono sistemi innumerabili coi quali paragonati quelli tanto in apparenza vasti, devono cadere tra le cose di nessuna considerazione, ed anche diventare impercettibili all'occhio; e che non solo l'uomo, ma il globo che abita, anzi l'intero sistema di cui egli è parte cotanto piccola, può

* Vedi le Note in fine dell'Opera.

essere annichilato, e la sua estinzione non essere avvertita nella immensità delle create cose.

Una conoscenza completa dell' astronomia fisica può esser conseguita da coloro solamente che sono ben versati nelle parti più sublimi della scienza matematica e meccanica (N. 2), ed essi soli possono apprezzare l' estrema bellezza de' risultati e dei mezzi per i quali questi risultati sono ottenuti. Egli è nondimeno vero che una istruzione nell' analisi (N. 3) sufficiente a comprendere il generale delineamento, a vedere la mutua dipendenza delle parti del sistema, e a conoscere per quali mezzi siasi arrivato alle più straordinarie conclusioni, è a portata di molti, i quali si ritraggono dall' impresa spaventati da difficoltà non più formidabili che quelle che s' incontrano nello studio degli elementi di qualsisia ramo di sapere. Vi è una grande differenza tra il grado delle cognizioni matematiche necessarie per fare le scoperte, e quello che si richiede per intendere ciò che gli altri hanno scoperto.

La nostra conoscenza degli oggetti esterni è fondata sulla esperienza che fornisce i fatti : il paragone di questi fatti stabilisce relazioni, dalle quali pel principio che cause simili producono simili effetti, siamo condotti a leggi generali. Così l' esperienza insegna che i corpi cadono alla superficie della terra con una velocità accelerata e con una forza superficiale proporzionata alle loro masse. Col paragone Newton provò che la forza, la quale cagiona la caduta dei corpi alla superficie terrestre è identica con quella che ritiene la luna nella sua orbita; e concluse che come la luna è ritenuta nell' orbita sua dall' attrazione della terra, così i pianeti possono essere ritenuti nelle loro orbite dall' attrazione solare. In tal guisa egli fu condotto alla scoperta d' una di quelle forze con che il Creatore ha voluto che la materia agisse reciprocamente sulla materia.

L' astronomia fisica è la scienza che paragona ed

identifica le leggi del moto osservato sulla terra coi movimenti che hanno luogo nei cieli, e che traccia per una non interrotta catena di deduzioni, le quali si partono dal gran principio che governa l'universo, le rivoluzioni e le rotazioni dei pianeti e le oscillazioni dei fluidi (N. 4) alla loro superficie, e che apprezza i cangiamenti ai quali il sistema è stato fin qui sottoposto o può quindi innanzi provare; cangiamenti che richiedono milioni di anni pel loro adempimento.

Le fatiche accumulate degli astronomi, fino dai primi albori della civilizzazione, sono state necessarie a stabilire la teoria meccanica dell'astronomia. I corsi dei pianeti sono stati osservati per secoli con un grado di perseveranza che fa meravigliare, se consideriamo la imperfezione e la mancanza ancora degli istrumenti. I moti reali della terra sono stati separati dai moti apparenti dei pianeti; le leggi delle rivoluzioni planetarie sono state scoperte; e la scoperta di queste leggi ha condotto alla conoscenza della gravitazione (N. 5) della materia. Dall'altro canto partendo dal principio di gravitazione ogni moto nel sistema solare è stato così completamente spiegato, che le leggi di qualsisia fenomeno astronomico che possa occorrere in avvenire, sono già determinate.

SEZIONE I.

Attrazione d' una sfera — Forma dei corpi celesti — La gravitazione terrestre ritiene la luna nella sua orbita — I corpi celesti si muovono in sezioni coniche — La gravitazione è proporzionale alla massa — Gravitazione delle particelle della materia — Figura dei pianeti — Come questa abbia influenza nei movimenti dei loro satelliti — Rotazione e traslazione impresse dall' impulso stesso — Moto del sole, e sistema solare.

È stato provato da Newton che una particella di materia (N. 6) situata fuori della superficie d' una sfera vuota (N. 7) è attratta da questa nella maniera stessa che se la massa della sfera vuota o tutta la materia ch' essa contiene fosse riunita in una particella densa al suo centro. La cosa stessa è pure vera per una sfera solida che si può supporre consistere d' un numero infinito di sfere vuote concentriche (N. 8). Questo però non è il caso d' una sferoide (N. 9); ma i corpi celesti sono così prossimamente sferici e a tali rimote distanze l' uno dall' altro, che essi attraggono e sono attratti come se ognuno fosse condensato in una sola particella situata nel suo centro di gravità (N. 10); circostanza che molto agevola la investigazione dei loro movimenti.

Newton ha dimostrato che la forza che ritiene la luna nella sua orbita è la stessa di quella che fa cadere le sostanze pesanti alla superficie della terra. Se questa fosse una sfera ed in riposo, un corpo sarebbe egualmente attratto, cioè esso avrebbe il peso medesimo in ogni punto dalla superficie terrestre; perchè la superficie d' una sfera dista in ogni parte egualmente dal centro. Ma siccome il nostro pianeta è appianato ai poli (N. 11) e turgido all' equatore, il peso del corpo stesso gradatamente diminuisce dai poli, dove è il massimo, ve-

nendo all'equatore, dove è il minimo. Vi è, ciò non ostante, una certa latitudine media (N. 12 e 13) o parte della terra intermedia fra il polo e l'equatore, dove l'attrazione della terra sui corpi alla sua superficie è la stessa come se la terra fosse una sfera; e l'esperienza mostra che i corpi vi cadono percorrendo 16'0697 piedi in un secondo. La distanza media (N. 14) della luna dalla terra è circa 60 volte il raggio medio terrestre (N. 15). Quando il numero 16'0697 è diminuito in ragione (N. 16) di 1 a 3600, che è il quadrato della distanza della luna (N. 17) dal centro della terra, valutata in raggi terrestri, si ritrova che esso è esattamente lo spazio che la luna trascorrerebbe nel primo secondo della sua discesa cadendo verso la terra, se non fosse impedita dalla forza centrifuga (N. 18) la quale nasce dalla velocità con che la luna si muove nella sua orbita. La luna così è ritenuta nella sua orbita da una forza che ha la stessa origine ed è governata dalla stessa legge di quella che fa cadere un sasso alla superficie terrestre. La terra per questo può essere riguardata come il centro d'una forza che si estende fino alla luna; e siccome l'esperienza dimostra che l'azione e la reazione della materia sono eguali e contrarie (N. 19), la luna deve attrarre la terra con una forza eguale e contraria.

Newton ha dimostrato ancora che un corpo lanciato (N. 20) nello spazio (N. 21) si muoverà in una sezione conica (N. 22), se sia attratto da una forza procedente da un punto fisso, con una intensità che è in ragione inversa del quadrato della distanza (N. 23): ma che qualunque deviazione da questa legge farà sì che esso si muova in una curva d'una natura diversa. Keplero ritrovò per osservazione diretta che i pianeti descrivono delle ellissi (N. 24) o delle orbite ovali attorno al sole. Le ultime osservazioni dimostrano che le comete ancora si muovono in sezioni coniche. Ne segue che il sole attrae tutti i pianeti e le comete inversamente al quadrato

delle loro distanze dal suo centro: il sole per questo è il centro d'una forza che si estende indefinitamente nello spázio e che include tutti i corpi del sistema nella sua azione.

Keplero ancora coll'osservazione dedusse che i quadrati dei tempi periodici (N. 25) dei pianeti, ossia i tempi delle loro rivoluzioni attorno al sole, sono proporzionali ai cubi delle loro distanze medie dal centro solare (N. 26). Quindi l'intensità della gravitazione di tutti i corpi verso il sole è la stessa ad eguali distanze. Conseguentemente la gravitazione è proporzionale alle masse (N. 27): perocchè se i pianeti e le comete fossero ad eguali distanze dal sole ed abbandonati agli effetti della gravità, essi arriverebbero alla sua superficie al tempo stesso (N. 28). I satelliti ancora gravitano verso i loro primarii (N. 29) secondo la stessa legge colla quale i loro primarii attorno al sole. Così per la legge medesima dell'azione e reazione ogni corpo è centro d'una forza attrattiva che si estende indefinitamente nello spazio e che cagiona tutte le mutue perturbazioni, le quali rendono i movimenti celesti così complicati e cotanto difficile la loro investigazione.

La gravitazione della materia diretta ad un centro e che attrae in ragione diretta della massa ed in ragione inversa del quadrato delle distanze, non le appartiene, quando si considera nella massa solamente; la particella agisce sulla particella secondo la stessa legge, quando si ritrovino l'una dall'altra ad una sensibile distanza. Se il sole agisse sul centro della terra senza attrarre ciascuna delle particelle terrestri, le maree sarebbero molto più grandi che non sieno ora, e sarebbero ancora sotto altri rispetti differentissime. La gravitazione della terra verso il sole risulta dalla gravitazione di tutte le particelle di lei che alla lor volta attraggono il sole in ragione delle loro rispettive masse. Vi è una reciproca azione parimente tra la terra ed ogni particella alla sua superficie. La terra ed una piuma mutuamente s'attraggono nella

proporzione della massa della terra alla massa della piuma. Se questo non fosse il caso, e vi fosse qualche porzione della terra, quantunque piccola, che attraesse un' altra porzione e non fosse attratta, il centro di gravità della terra si muoverebbe nello spazio per questo fatto; ciò che non può essere.

Le forme de' pianeti risultano dall' attrazione reciproca delle particelle che li compongono. Una massa fluida isolata, se è in quiete, prenderebbe la forma d' una sfera per la reciproca attrazione delle sue particelle. Ma se la massa gira attorno ad un asse, essa diventa depressa ai poli e gonfiasi all' equatore (N. 11) in virtù della forza centrifuga che nasce dalla velocità di rotazione (N. 30); perchè la forza centrifuga diminuisce la gravità delle particelle all' equatore, e l' equilibrio può solo sussistere dove queste due forze sieno bilanciate per un incremento di gravità. Per questo siccome la forza attrattiva è la stessa su tutte le particelle ad eguale distanza dal centro d' una sfera, le particelle equatoriali si allontanerebbero dal centro sino a che il loro aumento in numero bilanciasse la forza centrifuga per la loro attrazione. In conseguenza la sfera diventerebbe depressa ai poli od una sferoide appianata, ed un fluido che parzialmente o del tutto copra un solido, come l'oceano e l'atmosfera circondano la terra, deve prendere questa forma per rimanere in equilibrio. La superficie del mare è sferoidale per questo, e la superficie della terra solo devía da tale figura, dove s' innalza o s' abbassa rispetto al livello del mare. Se non che la deviazione è così piccola ch' è insignificante a paragone della grandezza della terra: perocchè la imponente catena delle Ande e l' Himalaya ancor più alta, hanno, riguardo alla terra, la proporzione stessa che un grano d' arena ad un globo di tre piedi di diametro. Tale è la forma della terra e dei pianeti. La compressione (N. 31) o lo schiacciamento ai loro poli è non di meno così piccolo, che Giove ancora, la cui rota-

zione è la più rapida e per questo il più elittico dei pianeti, può per la sua grande distanza essere riguardato come sferico. Sebbene i pianeti attraggansi reciprocamente come se fossero sfere a motivo delle loro distanze, pure i satelliti (N. 32) sono abbastanza vicini per essere sensibilmente soggetti ne' loro movimenti all' influenza delle forme de' loro primarii. La luna, per esempio, è tanto vicina alla terra, che la mutua attrazione tra ciascuna delle sue particelle e ciascuna delle particelle nella prominente massa dell' equatore terrestre cagiona notabili perturbazioni nei movimenti di ambidue i corpi: difatti l' azione della luna sulla materia dell' equatore terrestre produce una nutazione (N. 33) nell' asse (N. 34) di rotazione, e la reazione di questa materia sulla luna è la causa d' una nutazione corrispondente nell' orbita lunare (N. 35.)

Se una sfera in quiete nello spazio riceve un impulso che passi pel suo centro di gravità, tutte le sue parti si muoveranno in linea retta con una velocità eguale: ma se l' impulso non fosse pel centro di gravità, le sue particelle avendo velocità disuguali, avranno un moto rotatorio o di rivoluzione, al tempo stesso ch' essa è trasportata nello spazio (N. 36.) Questi moti sono indipendenti l' uno dall' altro, così che un impulso contrario che passi pel suo centro di gravità, impedirà il suo progresso senza interporsi alla rotazione di lei. Il sole ruota attorno ad un asse, e le moderne osservazioni dimostrano che un impulso in una contraria direzione non è stato dato al suo centro di gravità, giacchè esso muovesi nello spazio accompagnato da tutti que' corpi che compongono il sistema solare, circostanza che in nessuna maniera s' interpone coi loro relativi movimenti; e perchè in conseguenza del principio che la forza è proporzionale alla velocità (N. 37) le reciproche attrazioni d' un sistema rimangono le stesse, tanto che il suo centro di gravità sia in riposo o che si muova uniformemente nello spazio. È stato cal-

colato che se la terra ha ricevuto il suo moto da un solo impulso, questo impulso deve esser passato per un punto circa a 25 miglia dal suo centro. Poichè i moti di rotazione e di traslazione dei pianeti sono indipendenti l' un dall'altro, sebbene comunicati probabilmente dallo stesso impulso, essi formano oggetti separati d' investigazione.

SEZIONE II.

Movimento elittico — Movimento medio e vero — Cerchio equinoziale — Eclittica — Equinozi — Longitudine media e vera — Equazione del centro — Inclinazione delle orbite dei pianeti — Latitudine celeste — Nodi — Elementi d' un' orbita — Orbite non disturbate o elittiche — Grande inclinazione delle orbite dei nuovi pianeti — Gravitazione universale, causa delle perturbazioni nei movimenti dei corpi celesti — Problema dei tre corpi celesti — La stabilità del sistema solare dipende dal momento primitivo dei corpi.

Un pianeta si move nella sua orbita elittica con una velocità che varia ad ogni istante in conseguenza di due forze, l' una tendente al centro del sole, e l' altra nella direzione d' una tangente (N. 38) alla sua orbita, che nasce dalla primitiva impulsione data nel momento in cui fu lanciato nello spazio. Se la forza in direzione della tangente cessasse, il pianeta cadrebbe verso il sole per la sua gravità. Se il sole non lo attraesse, esso scorrerebbe via per la tangente. Così quando un pianeta è al punto più lontano dal sole della sua orbita, l'azione di questo supera la velocità del pianeta e lo conduce a lui con tal moto accelerato, che finalmente questo moto supera l'attrazione del sole; e progredendo, passato il punto più vicino al sole, gradatamente decresce la velocità sino a che arriva al punto più distante dove l'attrazione del sole di nuovo prevale (N. 39). In questo movimento i raggi vettori (N. 40) o le linee immaginarie che uniscono i centri del sole e dei pianeti, scorrono aree eguali o spazi eguali in tempi eguali (N. 41).

La distanza media d'un pianeta dal sole è eguale alla metà dell'asse maggiore (N. 42) della sua orbita: se per tanto il pianeta descrivesse un cerchio (N. 43) attorno al sole nella sua media distanza, il moto sarebbe uniforme ed il tempo periodico inalterato; perchè il pianeta arriverebbe alle estremità dell'asse maggiore nell'istante medesimo, ed avrebbe la velocità stessa, o si muova nell'orbita circolare o nell'elittica, poichè le curve coincidono in questi punti. Ma in ogni altra parte l'elittica o il movimento vero (N. 44) sarebbe o più celere o più lento che il moto circolare o medio (N. 45). Siccome egli è necessario di avere qualche punto fisso nel cielo da dove calcolare i moti suddetti, è stato scelto l'equinozio di primavera (N. 46) ad una data epoca. Il cerchio equinoziale, che è un gran cerchio tracciato nel cielo stellato coll'immaginaria estensione del piano dell'equatore terrestre, è intersecato dall'eclittica o cammino apparente del sole in due punti diametralmente opposti l'uno all'altro, chiamati equinozi di primavera e d'autunno. L'equinozio di primavera è il punto per il quale passa il sole nell'andare dall'emisfero meridionale al settentrionale; e l'autunnale è quello pel quale esso ritorna dal settentrionale al meridionale. Il moto medio o circolare d'un corpo, calcolato dall'equinozio di primavera, è la sua longitudine media; ed il suo moto elittico o vero, calcolato da questo punto, è la sua vera longitudine (N. 47); tutti e due essendo calcolati dall'occidente all'oriente, direzione nella quale i corpi si muovono. La differenza tra i due è chiamata l'equazione del centro (N. 48), che in conseguenza svanisce agli apsidi (N. 49), ossia all'estremità dell'asse maggiore, ed al suo massimo è 90° gradi (N. 50) distante da questi punti, o nelle quadrature (N. 51), dove essa misura l'eccentricità (N. 52) dell'orbita; così che la posizione del pianeta nella sua orbita elittica si ottiene sommando l'equazione del centro alla sua media longitudine o sottraendovela.

Le orbite dei principali pianeti hanno una piccolissima obliquità o inclinazione (N. 53) sul piano dell'eclittica nella quale la terra si muove, e per questo riguardo gli astronomi riportano i loro movimenti sul piano suddetto ad una data epoca come ad una posizione nota e determinata. La distanza angolare d'un pianeta dal piano dell'eclittica è la sua latitudine (N. 54), la quale è meridionale o nordica secondo che il pianeta è al Sud o al Nord di questo piano. Quando il pianeta è nel piano dell'eclittica, la sua latitudine è zero: esso allora vien detto essere ne' suoi nodi (N. 55). Il nodo ascendente è quel punto nell'eclittica per cui passa il pianeta andando dall'emisfero meridionale al settentrionale. Il nodo discendente è un punto corrispondente nel piano dell'eclittica diametralmente opposto all'altro, pel quale il pianeta discende andando dall'emisfero settentrionale all'australe. La longitudine e la latitudine d'un pianeta non possono essere ottenute per osservazione diretta; ma sono dedotte dalle osservazioni fatte alla superficie della terra con un semplicissimo calcolo. Queste due quantità nondimeno non danno la posizione di un pianeta nello spazio. La sua distanza dal sole (N. 56) deve ancora essere conosciuta; e per la completa determinazione del suo moto elittico, la natura e la posizione della sua orbita devono essere accertate colla osservazione. Questo dipende da sette quantità, chiamate gli elementi dell'orbita (N. 57). Queste sono la lunghezza dell'asse maggiore e l'eccentricità che determinano la forma dell'orbita; la longitudine del pianeta alla minima sua distanza dal sole, chiamata la longitudine del perielio, l'inclinazione dell'orbita al piano dell'eclittica e la longitudine del suo nodo ascendente. Questi elementi danno la posizione dell'orbita nello spazio: ma il tempo periodico e la longitudine del pianeta ad un dato istante, chiamata la longitudine dell'epoca, sono necessari per ritrovare la posizione del corpo nella sua orbita in tutti i momenti. Una conoscenza

perfetta di questi sette elementi si richiede per accertare tutte le circostanze d'un moto elittico non disturbato. Per tal modo si è ritrovato che le orbite dei pianeti, quando le loro mutue perturbazioni si omettono, sono ellissi che si approssimano molto ai cerchi, i cui piani alquanto inclinati sull'eclittica la tagliano in linee rette, che passano per il centro del sole (N. 58). Le orbite dei pianeti recentemente scoperti deviano più dall'eclittica che quelle degli antichi pianeti; quella di Pallade, per esempio, ha un'inclinazione sull'eclittica di 34°37′33·1″, pel quale motivo egli è più difficile determinare i loro movimenti.

Se i pianeti fossero attratti solamente dal sole, essi si moverebbero sempre secondo delle ellissi, invariabili nella forma e nella posizione; e perchè la sua azione è proporzionata alla sua massa che è molto maggiore di quella di tutti i pianeti riuniti, il moto elittico è il più prossimo al loro vero moto. I movimenti veri dei pianeti sono complicatissimi in conseguenza della loro mutua attrazione, così che essi non si muovono in una conosciuta o simmetrica curva, ma in orbite che ora si accostano, ora si allontanano dalla forma elittica; e i loro raggi vettori non descrivono aree o spazi esattamente proporzionali al tempo, così che le aree diventano una prova delle forze disturbatrici.

Determinare il moto d'un corpo quando è disturbato da tutti gli altri, è al di sopra del potere dell'analisi. Egli è per questo necessario di calcolare l'azione perturbatrice d'un pianeta in un tempo determinato: quindi il celebre problema dei tre corpi, originariamente applicato alla luna, alla terra e al sole; — vale a dire, essendo date le masse di tre corpi lanciati da tre punti dati con velocità date in quantità e direzione, e supponendo che tali corpi gravitino l'uno sull'altro, con forze che sono direttamente come le loro masse ed inversamente come i quadrati delle distanze, ritrovare le linee descritte da questi corpi e le loro posizioni ad un dato istante; ovvero in altre parole,

determinare il cammino d' un corpo celeste quando è attratto da un secondo corpo e disturbato nel suo moto attorno al secondo corpo da un terzo; problema egualmente applicabile ai pianeti, ai satelliti e alle comete.

Per questo problema i movimenti di translazione dei corpi celesti sono determinati. Esso è difficilissimo; e lo sarebbe molto più se l'azione disturbatrice non fosse piccolissima, paragonata con la forza centrale, cioè se l' azione dei pianeti l' uno sull' altro non fosse piccolissima paragonata con quella del sole. Siccome l'influenza perturbatrice d' ogni corpo può essere ritrovata separatamente, si è presunto che l' azione di tutto il sistema nel disturbare un pianeta è eguale alla somma di tutte le particolari perturbazioni ch' esso soffre, pel general principio di meccanica, che la somma d'un numero di piccole oscillazioni è prossimamente eguale al loro effetto simultaneo ed unito.

Riguardo all' azione reciproca della materia, la stabilità del sistema dipende dall' intensità del primitivo momento (N. 59) dei pianeti e dal rapporto delle loro masse a quella del sole; perchè la natura delle sezioni coniche nelle quali i corpi celesti si muovono, dipende dalla velocità con la quale essi furono da prima lanciati nello spazio. Se questa velocità fosse stata tale da fare muovere i pianeti in orbite d' instabile equilibrio (N. 60), le loro mutue attrazioni avrebbero potuto averle cangiate in parabole ed anche in iperbole (N. 22); così che la terra e i pianeti avrebbero potuto nell' età passate essere spinti lungi dal nostro sole in mezzo agli abissi dello spazio. Ma siccome queste orbite differiscono pochissimo da un cerchio, il momento del pianeta quando fu lanciato deve essere stato esattamente bastante ad assicurare la permanenza e la stabilità del sistema. In oltre la massa solare è grandemente maggiore di quella d'alcun pianeta; e siccome le loro disuguaglianze portano lo stesso rapporto nei loro movimenti elittici che le loro masse rispetto a quella

del sole, le loro mutue perturbazioni crescono solo o diminuiscono la eccentricità delle loro orbite di piccolissima quantità: conseguentemente la grandezza della massa del sole è la causa principale della stabilità del sistema. Nel mondo fisico non havvi esempio più splendido dell'attitudine dei mezzi al conseguimento d'un fine, che quello che è somministrato nell'aggiustamento proprio di queste forze, causa ad un tempo della varietà e dell'ordine della natura.

SEZIONE III.

Perturbazioni periodiche e secolari — Azione perturbatrice che equivale a tre forze parziali — Forza tangenziale, causa delle disuguaglianze periodiche nella longitudine e delle disuguaglianze secolari nella forma e posizione dell'orbita nel suo proprio piano — Forza radiale, causa delle variazioni nella distanza del pianeta dal sole — Essa si combina colla tangenziale per produrre le variazioni secolari nella forma e nella posizione dell'orbita nel suo piano — Forza perpendicolare, causa delle perturbazioni periodiche della latitudine e delle secolari variazioni nella posizione dell'orbita riguardo al piano dell'eclittica — Movimento medio ed asse maggiore invariabile — Stabilità del sistema — Effetti d'un mezzo resistente — Piano invariabile del sistema solare e dell'universo — Disuguaglianza grande di Giove e di Saturno.

I pianeti sono soggetti a perturbazioni di due specie, ambedue risultanti dall'azione costante della loro reciproca attrazione: una specie che dipende dalle loro posizioni riguardo gli uni agli altri, comincia da zero, cresce ad un massimo, decresce e diventa zero un'altra volta quando i pianeti ritornano alle stesse relative posizioni. In conseguenza di questo il pianeta disturbato è qualche volta allontanato dal sole, qualche volta portato più vicino a lui: qualche volta è accelerato nel suo movimento, e ritardato qualche altra. In un tempo esso è attirato sopra il piano della sua orbita, in un altro al disotto, secondo

la posizione del corpo disturbatore. Tutti questi cangiamenti, compiendosi in brevi periodi, alcuni in pochi mesi, altri in anni o in centinaie d' anni, sono denominati disuguaglianze periodiche. Le disuguaglianze dell' altra specie, sebbene sieno cagionate parimente dall' energia disturbatrice dei pianeti, sono intieramente indipendenti dalle loro relative posizioni. Esse dipendono dalle posizioni relative delle orbite sole, le cui forme e situazioni nello spazio sono alterate per piccolissima quantità in periodi immensi di tempo, e sono per questo chiamate disuguaglianze secolari.

Le perturbazioni periodiche sono compensate quando i corpi ritornano alle stesse relative posizioni rispetto gli uni agli altri ed al sole: le disuguaglianze secolari sono compensate, quando le orbite ritornano alle stesse posizioni relativamente le une alle altre ed al piano dell' eclittica.

Il movimento planetario che inchiude ambedue queste specie di perturbazioni può essere rappresentato da un corpo che gira in un' ellisse e che fa piccole e passeggiere deviazioni ora in un lato della sua orbita ora nell' altro; mentre la ellisse stessa lentamente ma ad ogni istante va cangiando di forma e di posizione.

Le disuguaglianze periodiche sono deviazioni puramente passeggiere d' un pianeta dal suo cammino, la più notevole delle quali dura solo 918 anni circa; se non che in conseguenza delle pertubazioni secolari, gli apsidi o l' estremità degli assi maggiori di tutte le orbite, hanno un movimento diretto ma variabile nello spazio, eccetto quelli dell' orbita di Venere che sono retrogradi (N. 61), e le linee dei nodi si muovono con una velocità variabile in direzione contraria. Oltre queste, la inclinazione e l' eccentricità di ciascuna orbita sono in uno stato di continuo sebbene lento cangiamento. Questi effetti risultano dall' azione perturbatrice di tutti i pianeti sopra ciascuno di loro. Ma siccome è necessario solo calcolare l' influenza

perturbatrice d'un corpo ad un dato tempo; ciò che segue può dare un'idea del modo nel quale un pianeta disturba il movimento ellittico d'un altro.

Supponete due pianeti che si muovano in ellissi attorno il sole: se uno di essi attraesse l'altro ed il sole con eguale intensità ed in direzioni parallele (N. 62), esso non produrrebbe nessun disturbo nel moto ellittico. La disuguaglianza di questa attrazione è la causa unica della perturbazione; e la differenza fra l'azione perturbatrice sul sole e sul pianeta disturbato costituisce la forza perturbatrice, la quale in conseguenza varia in intensità ed in direzione con ogni cangiamento nelle relative posizioni dei tre corpi. Sebbene tanto il sole che il pianeta siano sotto la influenza della forza perturbatrice, il movimento del pianeta disturbato si riferisce al centro del sole come punto fisso per comodità. Tutta la forza (N. 63) che disturba un pianeta è equivalente a tre forze parziali. Una di queste agisce sul pianeta disturbato nella direzione d'una tangente alla sua orbita, ed è chiamata forza tangenziale: essa cagiona disuguaglianze secolari nella forma e nella posizione dell'orbita nel suo proprio piano, ed è la sola causa delle perturbazioni periodiche nella longitudine del pianeta. L'altra agisce sopra lo stesso corpo nella direzione del suo raggio vettore, cioè nella linea che unisce i centri del sole e del pianeta, ed è chiamata forza radiale: essa produce cambiamenti periodici nella distanza del pianeta dal sole, ed influisce sulla forma e posizione dell'orbita nel suo proprio piano. La terza, che può essere chiamata forza perpendicolare, agisce ad angoli retti sul piano dell'orbita, cagiona le disuguaglianze periodiche nella latitudine del pianeta ed influisce sulla posizione dell'orbita rispetto al piano della eclittica.

È stato osservato che il raggio vettore d'un pianeta che muovesi in un'orbita perfettamente ellittica, percorre spazii eguali in tempi eguali: circostanza ch'è indipendente dalla legge della forza, e sarebbe la stessa se la

forza variasse inversamente come il quadrato della distanza o no, purchè solo fosse diretta al centro del sole. Quindi la forza tangenziale non essendo diretta al centro, cagiona una descrizione disuguale delle aree, o, ciò che è lo stesso, disturba il movimento del pianeta in longitudine. La forza tangenziale alle volte accelera il moto del pianeta, alle volte lo ritarda, ed alle volte non ha alcun effetto. Se le orbite dell' uno e dell' altro pianeta fossero circolari, una compensazione completa avrebbe luogo ad ogni rivoluzione dei due pianeti ; perchè gli archi nei quali le accelerazioni ed i ritardi si ritrovano, sarebbero simmetrici in ogni lato della forza perturbatrice. Giacchè egli è chiaro che se il moto è accelerato per un certo spazio e quindi ritardato per altrettanto, il moto alla fine del tempo sarebbe lo stesso come se non avesse avuto luogo cangiamento alcuno. Ma siccome le orbite planetarie sono ellissi, questa simmetria non si mantiene : perocchè siccome il pianeta muovesi disugualmente nella sua orbita, esso in alcune posizioni è più direttamente e per più lungo tempo sotto l' influenza della forza perturbatrice che in altre. E sebbene moltitudini di variazioni si compensino l' una coll' altra in periodi corti, ve ne sono altre dipendenti da relazioni peculiari tra i tempi periodici dei pianeti che non si compensano reciprocamente se non dopo una od anche se non dopo molte rivoluzioni dei due corpi. Una disuguaglianza periodica di questa specie nei movimenti di Giove e di Saturno ha un periodo non minore di 918 anni.

La forza radiale o quella parte della forza perturbatrice che agisce nella direzione d' una linea che unisce i centri del sole e del pianeta disturbato, non ha alcun effetto sopra le aree ; ma è causa di cangiamenti periodici di piccola estensione nella distanza del pianeta dal sole. Egli è già stato dimostrato che la forza che produce movimenti perfettamente ellittici, varia in ragione inversa del quadrato della distanza, e che una forza che seguisse

un'altra legge sarebbe causa che il corpo si muovesse in una curva di natura differente. Ora la forza radiale perturbatrice varia in ragione diretta della distanza; e siccome essa alcune volte si combina con l'intensità dell'attrazione del sole pel corpo disturbato e la accresce, ed altre volte le si oppone ed in conseguenza la diminuisce, in ambi i casi è cagione che l'attrazione del sole devii dalla esatta legge della gravità, e l'intera azione di questa forza centrale composta sul corpo disturbato è ora maggiore ora minore di quello che sia richiesto pel movimento perfettamente ellittico. Quando è maggiore, la curvatura dell'orbita del pianeta disturbato nel lasciare il suo perielio (N. 64) o il punto più vicino al sole, è maggiore di quello che dovrebbe essere nell'ellisse, e porta il pianeta al suo afelio (N. 65) o al punto il più lontano del sole prima ch'esso abbia passato il 180° come sarebbe se non fosse stato disturbato. Così in questo caso gli apsidi ossia le estremità dell'asse maggiore avanzano nello spazio. Quando la forza centrale è minore di quello che richieda la legge di gravità, la curvatura dell'orbita del pianeta è minore della curvatura dell'ellissi. Così che il pianeta nel lasciare il suo perielio oltrepasserebbe il 180° prima di arrivare al suo afelio: il che fa che gli apsidi recedano nello spazio (N. 66). I casi tanto di avanzamento che di recesso occorrono durante una rivoluzione de' due pianeti; ma quelli nei quali gli apsidi avanzano sono in numero maggiore. Questo nondimeno, non è il pieno ammontare del movimento degli apsidi: parte ne deriva ancora dalla forza tangenziale (N. 63) che alternativamente accelera e ritarda la velocità del pianeta disturbato. Un aumento nella velocità tangenziale del pianeta diminuisce la curvatura della sua orbita, ed è equivalente ad una diminuzione della forza centrale. Al contrario, una diminuzione della velocità tangenziale che aumenta la curvatura dell'orbita è equivalente ad un aumento della forza

centrale. Queste fluttuazioni che si devono alla forza tangenziale cagionano un alternativo recesso ed avanzamento degli apsidi, secondo il modo già dichiarato (N. 66). Una porzione non compensata del movimento diretto che nasce da questa causa, cospira con quella già impressa colla forza radiale ed in alcuni casi anche quasi raddoppia il moto diretto di questi punti. Il movimento degli apsidi può essere rappresentato, supponendo che un pianeta si muova in un'ellisse, mentre l'ellisse stessa si rivolge lentamente attorno al sole nello stesso piano (N. 67). Questo movimento dell' asse maggiore ch' è diretto in tutte le orbite, eccetto in quella del pianeta Venere, è irregolare e così lento che richiede più di 109,830 anni, perchè l' asse maggiore dell' orbita della terra compisca una rivoluzione siderale (N. 68), cioè ritorni alle stesse stelle, e 20,984 anni a compire la sua rivoluzione tropicale (N. 69), ossia a ritornare allo stesso equinozio. La differenza tra questi due periodi nasce da un movimento retrogrado nel punto equinoziale, il quale incontra l' asse che progredisce, avanti che il primo abbia compita la rivoluzione rispetto alle stelle. L' asse maggiore dell' orbita di Giove richiede non meno di 200,610 anni a eseguire la sua rivoluzione siderale, e 22,748 anni a compiere la tropicale per l' azione perturbatrice di Saturno solo.

Una variazione nell' eccentricità dell' orbita del pianeta disturbato è la conseguenza immediata della deviazione della curvatura ellittica, cagionata dall' azione della forza disturbatrice. Quando il cammino del corpo nell' andare dal perielio al suo afelio per effetto delle forze perturbatrici è più curvo di quello che dovrebbe essere, esso si eseguisce dentro l'orbita ellittica, la eccentricità è diminuita, e l' orbita diventa più prossimamente circolare; quando questa curvatura è minore di quello che dovrebbe essere, il cammino del pianeta esce fuori della sua orbita (N. 66) e l' eccentricità è aumentata; du-

rante questi cangiamenti la lunghezza dell'asse maggiore non è alterata, l'orbita solo diventa più rigonfia o più depressa (N. 70). Così la variazione nell'eccentricità nasce dalla stessa causa che cagiona il movimento degli apsidi (N. 67). Vi è un'inseparabile connessione tra questi due elementi: essi variano simultaneamente ed hanno l'istesso periodo; così che mentre l'asse maggiore gira in un periodo immenso di tempo, l'eccentricità cresce e decresce di piccolissime quantità e alla fine ritorna alla sua originale grandezza ad ogni rivoluzione degli apsidi. La terrestre eccentricità decresce in ragione di circa 40 miglia all'anno, e se essa decrescesse uniformemente, vi vorrebbero 39,861 anni prima che l'orbita nella terra diventasse un cerchio. L'azione mutua di Giove e Saturno cagiona delle variazioni nell'eccentricità delle orbite loro; la massima eccentricità dell'orbita di Giove corrispondendo alla minima di Saturno. Il periodo nel quale queste vicende si compiono è di 70,414 anni, calcolando solo l'azione di questi due pianeti: ma se l'azione di tutti i pianeti fosse calcolata, il ciclo si estenderebbe a milioni d'anni.

È ora a considerare quella parte della forza perturbatrice la quale agisce perpendicolarmente al piano dell'orbita cagionando periodiche perturbazioni in latitudine, variazioni secolari nell'inclinazione dell'orbita ed un retrogrado movimento ne' suoi nodi sul vero piano dell'eclittica (N. 71).

Questa forza tende a spingere il corpo disturbato al disopra o lo spinge al basso (N. 72) del piano della sua orbita, secondo le relative posizioni de' due pianeti rispetto al sole considerato come se fosse fisso. Per questa azione avviene che qualche volta il piano dell'orbita del pianeta disturbato tenda a coincidere col piano dell'eclittica e qualche volta aumenti la sua inclinazione a questo piano. In conseguenza di che i suoi nodi alternativamente recedono od avanzano sull'eclittica (N. 73). Quando il pia-

neta disturbatore è nella linea de' nodi del pianeta perturbato (N. 74) esso non influisce su questi punti nè sulla latitudine nè sull' inclinazione, perchè ambedue i pianeti sono allora nell' istesso piano. Quando esso è ad angoli retti sulla linea dei nodi e l' orbita è simmetrica dai due lati della forza perturbatrice, il movimento di questi punti, verificato dopo una rivoluzione del corpo perturbato, è retrogrado e comparativamente rapido: ma quando il pianeta disturbatore è situato in modo che l' orbita del pianeta disturbato non è simmetrica ad ogni lato della forza disturbatrice, ciò che è il caso più frequente, ha luogo ogni possibile varietà d' azione. In conseguenza i nodi perpetuamente si avanzano o si ritirano con disuguale velocità; ma siccome non vi è compenso, il loro movimento nel totale è retrogrado.

Rispetto alle variazioni nell' inclinazione, è chiaro, che quando l' orbita è simmetrica in ogni lato della forza perturbatrice, tutte le sue variazioni sono compensate dopo una rivoluzione del corpo disturbato, e sono perturbazioni meramente periodiche nella latitudine del pianeta, nè alcun cangiamento secolare viene indotto nell' inclinazione dell' orbita. Quando, al contrario, quest' orbita non è simmetrica in ogni lato della forza disturbatrice, sebbene molte delle variazioni in latitudine sieno passeggiere o periodiche, sempre dopo una rivoluzione completa del corpo disturbato, una porzione rimane non compensata, la quale produce un cambiamento secolare nell' inclinazione dell' orbita sul piano dell' eclittica. Vero è che parte di questo secolare cangiamento nell' inclinazione è compensato dalla rivoluzione del corpo disturbatore, il cui movimento non è stato sino a qui preso in considerazione, così che perturbazione compensa perturbazione: ma sempre un cambiamento comparativamente duraturo si effettua nell' inclinazione, il quale non è compensato sino a che i nodi abbiano compita una perfetta rivoluzione.

I cangiamenti nella inclinazione sono estremamente piccoli (N. 75) paragonati col moto dei nodi, e vi è la stessa specie d'inseparabile connessione tra i loro secolari cambiamenti di quella che vi è tra la variazione della eccentricità ed il movimento dell'asse maggiore. I nodi e le inclinazioni variano simultaneamente; i loro periodi sono gli stessi e grandissimi. I nodi dell'orbita di Giove per l'azione del solo Saturno, richiedono 36,261 anni per compiere solo una rivoluzione tropicale. In ciò che precede è stata considerata l'influenza d'un solo corpo perturbatore; ma quando l'azione e la reazione dell'intero sistema sono prese a calcolo, ogni pianeta è sottoposto all'azione di tutti gli altri ed esso medesimo agisce in questa maniera su tutti gli altri; e l'effetto complesso tiene le inclinazioni e l'eccentricità in uno stato di perpetua variazione. Questo fa che gli assi maggiori di tutte le orbite continuamente girino, e cagiona, fatto la verificazione, un moto retrogrado dei nodi di ciascuna orbita sopra tutti gli altri. La eclittica stessa (N. 71) è in moto per la mutua azione della terra e dei pianeti, così che tutto l'insieme è un fenomeno composto di grande complessità che rimonta ad età sconosciute. Al tempo presente le inclinazioni di tutte le orbite sono decrescenti, ma così lentamente, che l'inclinazione dell'orbita di Giove è solo circa sei minuti minore di ciò ch'essa era nel secolo di Tolomeo.

Ma in mezzo a tutte queste vicissitudini la lunghezza degli assi maggiori e dei moti medii de' pianeti rimangono permanentemente indipendenti dai secolari cangiamenti. Essi sono così connessi per la legge di Keplero dei quadrati dei tempi periodici proporzionali ai cubi delle distanze medie dei pianeti dal sole, che uno non può variare senza influire sull'altro. Ed è provato che alcune variazioni che si compiono sono passeggiere e dipendono solo dalle posizioni relative dei corpi.

Egli è vero che secondo la teoria, la forza perturba-

trice radiale permanentemente altererebbe le dimensioni di tutte le orbite ed i tempi periodici di tutti i pianeti fino ad un certo grado. Ne siano esempio, le masse di tutti i pianeti che girano dentro l'orbita di qualche altro, come Marte, in quanto che per l' aggiungersi della massa interna, cresce la forza attraente del sole, la quale per questo deve contrarre le dimensioni dell' orbita di quel pianeta e diminuire il suo tempo periodico, mentre i pianeti esteriori all' orbita di Marte devono produrre l' effetto contrario. Ma la massa dei pianeti e dei satelliti presi insieme è così poca cosa, paragonata a quella del sole, che questi effetti sono del tutto insensibili e possono solo essere stati scoperti colla teoria. E siccome è certo che la lunghezza degli assi maggiori e i movimenti medii non sono permanentemente cangiati da qual si sia altra forza, si può concludere ch' essi sono invariabili.

Ad eccezione di questi due elementi, apparisce che tutti i corpi sono in moto, ed ogni orbita in istato di perpetuo mutamento. Piccoli per quanto siano questi cangiamenti, si può supporre si accumulino nel corso dei secoli, abbastanza per scompigliare tutto l' ordine della natura, alterare le posizioni relative dei pianeti, porre un fine al succedersi delle stagioni, e portare collisioni che involgerebbero tutto il nostro sistema, ora così armonico, in una caotica confusione. È egli naturale il ricercare quali prove esistono che la natura sarà preservata da una tale catastrofe? Nulla può essere conosciuto di questo per mezzo dell'osservazione: poichè l'esistenza della specie umana non ha occupato comparativamente se non che un punto nella durata, mentre questi fenomeni abbracciano miriadi di secoli. La prova è semplice e concludente. Tutte le variazioni del sistema solare così secolari che periodiche sono espresse analiticamente per i seni e i coseni di archi circolari (N. 76) che crescono col tempo; e siccome un seno o coseno non può essere mai maggiore del raggio, ma deve oscillare

tra lo zero e l'unità, per quanto il tempo possa aumentarsi, ne segue che quando le variazioni sonosi accumulate fino al massimo per lenti cangiamenti in qual si sia lungo tempo, esse decrescono per gli stessi lenti gradi sino a che arrivano al loro più piccolo valore, per ricominciare nuovamente un nuovo corso, e così per oscillare sempre attorno ad un valore medio. Questa circostanza non di meno sarebbe insufficiente, se non lo fosse per le piccole eccentricità delle orbite planetarie, per le loro piccole inclinazioni al piano della eclittica e per le rivoluzioni di tutti i corpi così pianeti che satelliti nella stessa direzione. Questo assicura la perpetua stabilità del sistema solare (N. 77). Non di meno al tempo in cui la stabilità fu provata da La Grange e da La Place, i pianeti telescopici tra Marte e Giove non erano stati scoperti; ma La Grange avendo investigato tal soggetto sotto un punto di vista generalissimo, dimostrò che se un sistema planetario fosse composto di masse disugualissime, l'insieme delle maggiori manterrebbe una inalterabile stabilità riguardo alla forma e alla posizione delle loro orbite, mentre le orbite delle minori potrebbero andare sottoposte ad illimitati cangiamenti. Le Verrier ha applicato questo al sistema solare, ed ha ritrovato che le orbite di tutti i pianeti maggiori manterrebbero sempre un'inalterabile stabilità nella forma e nella posizione; perchè sebbene soggette alle mutazioni di lunghissimi periodi, esse di nuovo ritornano esattamente a quello che erano in origine, oscillando tra limiti strettissimi; ma egli ritrovava una zona d'instabilità tra l'orbita di Marte e due volte la media distanza della terra dal sole,[1] o tra 1·5 e 2·00; pertanto la posizione e la forma delle orbite di questi fra i pianeti teloscopici, che si aggirano dentro que-

[1] La distanza media della terra dal sole è 95,000,000 miglia; ma a sfuggire l'inconveniente d'un numero grande, si è preso per l'unità di distanza: perciò la media distanza di Marte è 1·52369, ovvero 1·5 approssimativamente; quello della terra essendo = 1.

sta zona, sarà soggetta a variazioni senza fine. Ma le orbite di quelli più lontani dal sole di quello che sia Flora, o al di là di 2·20, sarà stabile, così che le loro eccentricità ed inclinazioni devono sempre essere state e rimarranno sempre grandissime, poichè esse devono esser dipese dalle primitive condizioni che predominarono quando questi atomi planetari furono lanciati nello spazio. Il 51mo di questi piccoli corpi, il quale fu scoperto, e gli elementi della sua orbita furono determinati dal signor Valz a Nimes, ha una distanza media di 1·88; così esso gira nella zona dell'instabilità. Esso ha un periodo di tempo più corto che alcuni di quelli scoperti in antecedenza, ed una eccentricità maggiore, da Nisa in fuori. La sua orbita taglia quella di Marte e s'accosta di più alla terra che le orbite di Marte e di Venere, circostanza che sarebbe favorevole per correggere la parallasse del sole, o confermarne l'esattezza. I pianeti teloscopici, per quanto siano numerosi, non hanno influenza sui moti dei pianeti più grandi; giacchè Giove ha un diametro di 90,734 miglia, mentre quello di Pallade, il suo più prossimo vicino, è solo di 97 miglia, poco più che la distanza da Londra a Bath. Il diametro di Marte, dall'altro lato dei piccoli pianeti, è di 4546 miglia e quello della terra di 7925 miglia e $\frac{1}{2}$; così che il gruppo teloscopico è troppo piccolo per disturbare gli altri. Le Verrier ritrovava un'altra zona d'instabilità tra Venere ed il sole, sul confine della quale gira Mercurio, l'inclinazione della cui orbita al piano dell'eclittica è circa un 7°, che è più che quella di alcuno de'grandi pianeti. L'orbita di Nettuno è senza dubbio così stabile come quella di ogni altro dei pianeti grandi, e l'inclinazione ne è piccolissima, ma essa avrà variazioni periodiche di lunghissima durata per la reciproca attrazione tra esso ed Urano, una specialmente di durata enorme, simile a quelle di Giove e di Saturno e, come esse, dipendente dal tempo della sua rivoluzione attorno al sole, essendo quasi due volte così lunga che quella di

Saturno. Adams ha computato che Nettuno produce una periodica perturbazione nel moto di Urano, la cui durata è circa di 6800 anni.

L'equilibrio del sistema sarebbe però disordinato, se i pianeti si muovessero in un mezzo resistente (N. 78) abbastanza denso da diminuire la loro velocità tangenziale: perchè allora le eccentricità ed i maggiori assi delle orbite sarebbero variati col tempo, così che la stabilità del sistema sarebbe in ultimo distrutta. La esistenza d'un mezzo etereo è ora provata; e sebbene esso sia così estremamente rarefatto che sino a qui i suoi effetti sui movimenti dei pianeti siano stati del tutto insensibili, non vi può esser dubbio che nell'immensità del tempo esso modifichi le forme delle orbite planetarie, e possa all'ultimo cagionare ancora la distruzione del nostro sistema che in sè stesso nessun principio contiene di decadenza, a meno che un moto rotatorio dall'occidente all'oriente non sia stato dato a questo mezzo dai corpi del sistema solare, i quali tutti si rivolgono attorno il sole in quella direzione sino da età incognite. Questa rotazione che sembra probabilissima, può essere stata anche coeva con la sua creazione. Un vortice tale non avrebbe effetto alcuno sui corpi che si muovono con esso, ma influirebbe sui movimenti di quelli che compiono le loro rivoluzioni in senso contrario. È possibile che le perturbazioni sperimentate dalle comete che hanno già rivelata la esistenza di questo mezzo etereo possano pure col tempo scoprire il suo movimento rotatorio.

La forma e la posizione delle orbite planetarie ed il movimento dei corpi nella stessa direzione, insieme alla periodicità dei termini, nei quali le disuguaglianze sono espresse, ci assicurano che le variazioni del sistema sono confinate dentro limiti strettissimi, e che sebbene noi non conosciamo l'estensione dei limiti nè il periodo di questo grande ciclo, che probabilmente abbraccia milioni d'anni, pure essi non eccederanno quello che è necessario per la

stabilità e l'armonia del tutto; per la cui conservazione ogni circostanza è così bellamente e meravigliosamente adattata.

Il piano dell'eclittica stessa, sebbene supposto fisso ad una data epoca per comodo dei calcoli astronomici, è soggetto a una piccola secolare variazione di 45″·7 prodotta dall'azione reciproca dei pianeti. Ma siccome questa è pure periodica e non può eccedere 2° 42′, l'equatore terrestre che è inclinato al detto piano con un angolo [1] di 23° 27′ 27″ 81, non coinciderà mai col piano dell'eclittica; così non può esservi mai una primavera perpetua (N. 79). La rotazione della terra è uniforme: per questo, giorno e notte, inverno ed estate continueranno le loro alternative, finchè il sistema dura o non è disordinato da straniere cause.

> Danze misteriose, a cui la sola
> De' pianeti s'accosta e de le stelle:
> Tai ne son le rivolte e tai gli obbliqui,
> Sinuosi, intrecciati avvolgimenti,
> Che si accordano più dove più sembra
> Discordino fra lor. [2]

La stabilità del nostro sistema fu dimostrato da La Grange: scoperta, dice il professore Playfair, che deve renderne il nome per sempre memorabile nella scienza e riverito da coloro che trovano diletto nella contemplazione di tutto ciò che è eccellente e sublime. Dopo la scoperta di Newton delle leggi meccaniche delle orbite ellittiche dei pianeti, la scoperta di La Grange sulle loro periodiche disuguaglianze è senza dubbio la più sublime verità dell'astronomia fisica; e rispetto alla dottrina delle cause finali, può essere considerata come la più grande di tutte.

Non ostante la stabilità del nostro sistema, le variazioni secolari nelle orbite planetarie avrebbero estremamente imbarazzato gli astronomi, quando è necessario

[1] L'obliquità data nel testo è per l'anno 1859.

[2] Milton, *Paradiso perduto*, lib. V, traduzione del cav. Andrea Maffei.

paragonare osservazioni separate da lunghi periodi. La difficoltà fu in parte evitata, ed il principio per giungervi fu stabilito da La Place ed è stato di poi esteso da Poinsot. Sembra che esista un piano invariabile (N. 80) che passa per il centro di gravità del sistema, intorno a cui il tutto oscilla dentro strettissimi confini, e che questo piano rimarrà sempre parallelo a sè stesso, qualunque cangiamento il tempo possa indurre nelle orbite dei pianeti nel piano dell'eclittica od anche nella legge di gravitazione; purchè solo il nostro sistema rimanga libero da qualunque altro. La posizione del piano è determinato da questa proprietà: che se ogni particella nel sistema è moltiplicata per l'area descritta in questo piano in un dato tempo dalla proiezione del suo raggio vettore attorno il comun centro di gravità del tutto, la somma di tutti questi prodotti sarà un massimo (N. 81). La Place ritrovava che il piano in discorso è inclinato all'eclittica con un angolo di quasi 1° 34′ 15″ e che passando pel sole e circa a mezza strada tra le orbite di Giove e di Saturno, poteva essere riguardato come l'equatore del sistema solare dividendo questo in due parti che bilanciansi mutuamente in tutti i loro moti. Questo piano della massima inerzia, in nessuna maniera peculiare al sistema del sole nostro, ma esistente unicamente in ogni sistema di corpi soggetti alle loro mutue attrazioni, mantiene sempre una posizione fissa; quindi le oscillazioni del sistema possono essere calcolate per un tempo illimitato. Gli astronomi futuri conosceranno dalla sua immutabilità o variazione se il sole e i suoi dipendenti sono connessi o no con altri sistemi dell'universo. Se non vi fosse legame tra loro, si potrebbe inferire dalla rotazione del sole che il centro di gravità (N. 82) del sistema situato dentro la sua massa, descrive una linea retta in questo invariabile piano o grande equatore del sistema solare, il quale impassibile ai cangiamenti del tempo manterrà la sua stabilità per

secoli senza fine. Ma se le stelle fisse, le comete od altri corpi non conosciuti ed invisibili influiscono sul nostro sole e sui pianeti, i nodi di questo piano lentamente recederanno sul piano di quell'orbita immensa che può descrivere il sole intorno qualche distantissimo centro in un periodo, che trascende il potere dell' uomo determinare qual sia. Vi è ogni ragione per credere che questo sia il caso: poichè egli è più che probabile che per quanto sieno lontane le stelle fisse, esse influiscano in qualche grado sul nostro sistema, e che la invariabilità pure di quel piano sia relativa, solo apparendo fissa alle creature incapaci di calcolare i suoi minuti e lenti cangiamenti per la piccola estensione di tempo e di spazio concesso all'umana razza. « Lo sviluppo di questi cangiamenti, come osserva giustamente Poinsot, è simile ad un' enorme curva, della quale vediamo un arco così piccolo che imaginiamo sia una linea retta. » Se poi innalziamo la nostra vista all' intera estensione dell' universo e consideriamo che le stelle insieme col sole, sono corpi erranti, i quali girano intorno al comun centro del creato, allora noi possiamo riconoscere nel piano equatoriale che passa pel centro di gravità dell' universo il solo esempio di una assoluta ed eterna quiete.

Tutte le disuguaglianze periodiche e secolari dedotte dalla legge di gravitazione sono così perfettamente confermate dall' osservazione, che l' analisi è diventata uno dei mezzi più certi per scuoprire le planetarie irregolarità tanto quando sono troppo piccole, quanto allorchè troppo lunghe nei loro periodi per essere scoperte cogli altri metodi. Giove e Saturno però offrono disuguaglianze che per lungo tempo sembrarono discordanti da quella legge. Tutte le osservazioni da quelle dei Chinesi e degli Arabi sino al presente dì provano che per secoli i moti medii di Giove e di Saturno sono stati soggetti ad una grande disuguaglianza di un lunghissimo periodo che formava un' apparente anomalia nella teoria dei pianeti. Egli è da lungo

tempo noto per l'osservazione, che cinque volte il movimento medio di Saturno è prossimamente eguale a due volte quello di Giove: relazione che la sagacità di La Place capì essere la causa d'una periodica irregolarità nel moto medio di ognuno di questi pianeti, la quale compie il suo periodo in quasi 918 anni ritardando il movimento dell'uno mentre quello dell'altro è accelerato: ma la grandezza ed il periodo di queste quantità variano in conseguenza delle variazioni secolari negli elementi delle orbite. Supponete che i due pianeti siano dal lato stesso del sole e tutti e tre nella stessa linea retta: essi diconsi allora essere in congiunzione (N. 83). Ora se i due pianeti cominciano a muoversi al tempo stesso facendo esattamente l'uno cinque rivoluzioni nella sua orbita mentre l'altro ne fa due soltanto, è chiaro che Saturno, il corpo che muovesi lento, sarà scorso su d'una parte dell'orbita sua nel tempo in cui Giove ha fatto una intera rivoluzione e parte d'un'altra, prima che sieno di nuovo in congiunzione. È stato riconosciuto che durante questo tempo la loro mutua azione è tale da produrre un gran numero di perturbazioni che compensansi a vicenda, ma che ne rimane sempre una porzione senza compenso, la quale è dovuta alla lunghezza del tempo nel quale le forze agiscono nella maniera istessa; e se la congiunzione sempre accadesse al medesimo punto dell'orbita, questa non compensata disuguaglianza nel moto medio andrebbe crescendo sino a che i tempi periodici e le forme dell'orbita fossero completamente e permanentemente cangiate: caso che realmente avrebbe luogo se Giove compisse esattamente cinque rivoluzioni nel tempo che Saturno ne fa due. Queste rivoluzioni non sono per altro esattamente commensurabili; i punti nei quali le congiunzioni hanno luogo, sono in avanti ogni volta per $8°\cdot37'$, così che le congiunzioni non accadono esattamente nei medesimi punti delle orbite se non dopo un periodo di 850 anni; e in conseguenza di questo piccolo avanzamento i pianeti

sono portati in tali relative posizioni, che la disuguaglianza che sembrava minacciare la stabilità del sistema, è completamente compensata; ed i corpi, essendo ritornati alle stesse relative posizioni rispetto l'uno all'altro ed al sole, cominciano un corso novello. Le variazioni secolari negli elementi dell'orbita aumentano il periodo della disuguaglianza fino a 918 anni (N. 84). Siccome una perturbazione che influisce sul moto medio influisce pure sull'asse maggiore, le forze disturbatrici tendono a diminuire l'asse maggiore dell'orbita di Giove ed aumentano quella di Saturno durante una metà del periodo, ed il contrario durante l'altra metà. Questa disuguaglianza è strettamente periodica, poichè dipende dalla configurazione (N. 85) dei due pianeti; e la teoria è confermata dall'osservazione che dimostra che nel corso di venti secoli il movimento medio di Giove è stato accelerato di circa 3° 23′ e quello di Saturno ritardato di 5° 13′. Parecchi esempi di perturbazioni di questo genere occorrono nel sistema solare. Una nei movimenti medii della Terra e di Venere che solo ammonta a pochi secondi, di cui è venuto a capo recentemente Airy con molta fatica. Essa compensa i suoi cambiamenti in 240 anni e nasce dalla circostanza che tredici volte il tempo periodico di Venere è prossimamente eguale a otto volte quello della Terra. Per quanto piccola essa sia, è pur sensibile nei movimenti terrestri.

Si potrebbe immaginare che l'azione reciproca di quei pianeti che hanno satelliti, sia differente dalla influenza di quelli che non ne hanno. Ma le distanze dei satelliti dai loro primarii sono incomparabilmente minori che le distanze dei pianeti dal sole e dall'uno all'altro. Così che il sistema d'un pianeta e de' suoi satelliti si muove prossimamente come se tutti questi corpi fossero uniti nel loro comune centro di gravità. L'azione del sole non di meno in qualche modo disturba i movimenti dei satelliti intorno ai loro primarii.

SEZIONE IV.

Teoria dei satelliti di Giove — Effetti della configurazione di Giove sopra i suoi satelliti — Posizione delle loro orbite — Leggi singolari dei movimenti dei primi tre satelliti — Eclissi dei satelliti — Velocità della luce — Aberrazione — Mezzo etereo — Satelliti di Saturno e di Urano.

I cambiamenti che hanno luogo nel sistema planetario sono rappresentati in una proporzione più piccola da Giove e da' suoi satelliti; e siccome il periodo richiesto per lo sviluppo delle disuguaglianze di queste lune solo si estende a pochi secoli, esso può riguardarsi come un epitome di quel gran ciclo che non sarà compito dai pianeti che in miriadi di secoli. Le rivoluzioni dei satelliti attorno a Giove sono precisamente simili a quelle dei pianeti attorno il sole: è vero che sono disturbati dal sole, ma la sua distanza è così grande che i loro movimenti sono approssimativamente gli stessi come se non fossero sotto la sua influenza. I satelliti come i pianeti furono probabilmente lanciati in orbite ellittiche: ma siccome le masse dei satelliti sono quasi 100,000 volte minori di quella di Giove, e siccome la compressione della sferoide di Giove è così grande a causa della sua rapida rotazione, che il suo diametro equatoriale eccede il polare di non meno che 6,000 miglia, l'immensa quantità di materia prominente al suo equatore deve aver ben tosto data la forma circolare osservata nelle orbite del primo e del secondo satellite, che la sua superiore attrazione loro manterrà sempre. Il terzo e il quarto satellite essendo molto più lontani dalla sua influenza, rivolgonsi in orbite di piccolissima eccentricità. E sebbene il primo e il secondo sensibilmente si muovono in cerchi, le loro orbite acquistano una debole ellitticità a cagione delle perturbazioni a cui vanno soggetti (N. 86).

È stato riconosciuto che l'attrazione d'una sfera sopra un corpo esteriore è la stessa come se la sua massa fosse riunita tutta in una particella nel suo centro di gravità, e per questo in ragione inversa del quadrato della distanza. In una sferoide però vi è una forza addizionale che nasce dalla massa turgida al suo equatore, che non seguendo l'esatta legge di gravità, agisce come una forza perturbatrice. Effetto di questa forza perturbatrice nella sferoide di Giove è di cagionare un moto diretto negli assi maggiori delle orbite di tutti i satelliti suoi, che è molto più rapido quanto più vicino è il satellite al pianeta, e assai maggiore di quella parte del loro movimento che deriva dall'azione perturbatrice del sole. La stessa causa fa che le orbite dei satelliti restino quasi nel piano stesso dell'equatore di Giove (N. 87), ragione per la quale i satelliti sono sempre veduti quasi nella stessa linea (N. 88); e la potente azione di quella quantità di prominente materia è la ragione per la quale i movimenti dei nodi di questi piccoli corpi sono tanto più rapidi che quelli del pianeta. I nodi del quarto satellite compiscono una rivoluzione tropicale in 531 anni; mentre quelli dell'orbita di Giove richiedono non meno di 36,261 anni; prova della reciproca attrazione tra ogni particella dell'equatore di Giove e dei satelliti. Difatti, se i satelliti si muovessero esattamente nel piano dell'equatore di Giove, non sarebbero spinti fuori di questo piano, perchè la attrazione sarebbe uguale sui due lati di lui. Ma siccome le orbite loro hanno una debole inclinazione al piano dell'equatore del pianeta, vi è mancanza di simmetria, e l'azione della protuberante materia tende a rendere retrogradi i nodi spingendo i satelliti sopra o sotto i piani delle loro orbite; azione che è così grande sui satelliti interni, che i movimenti dei loro nodi sono quasi gli stessi come se niun'altra forza perturbatrice esistesse.

Le orbite dei satelliti non mantengono una inclinazione permanente o al piano dell'equatore di Giove o a quello

dell' orbita sua; ma a certi piani che passano tra i due e la loro intersezione. Questi hanno una maggiore inclinazione al suo equatore quanto più lontano è il satellite, dovuta all' influenza della compressione di Giove, ed hanno un moto lento corrispondente alle variazioni secolari nei piani dell' orbita e dell' equatore di Giove.

I satelliti di Giove non solo sono soggetti alle disuguaglianze periodiche e secolari per la loro mutua attrazione, simili a quelle che modificano i movimenti e le orbite dei pianeti, ma ad altre ancora peculiari a loro stessi. Delle disuguaglianze periodiche che nascono dalla loro mutua attrazione, la più notevole si effettua nei movimenti angolari (N. 89) dei tre più vicini a Giove; il secondo dei quali riceve dal primo una perturbazione simile a quella che esso produce nel terzo; e subisce dal terzo una perturbazione simile a quella che comunica al primo. Nelle eclissi queste due disuguaglianze sono combinate in una, il cui periodo è di 437·659 giorni. Le variazioni peculiari ai satelliti nascono dalle secolari disuguaglianze cagionate dall' azione dei pianeti nella forma e posizione dell' orbita di Giove e dallo spostamento del suo equatore. È chiaro che tutto quello che altera le relative posizioni del sole, di Giove e de' suoi satelliti, deve produrre un cambiamento nelle direzioni ed intensità delle forze, il quale influirà sui moti e sulle orbite dei satelliti. Per questa ragione le variazioni secolari nella eccentricità dell' orbita di Giove cagionano disuguaglianze secolari nei moti medii dei satelliti e nei moti dei nodi e degli absidi dell' orbite loro. Lo spostamento dell' orbita di Giove e la variazione nella posizione del suo equatore influiscono pure sopra questi piccoli corpi (N. 90). Il piano dell' equatore di Giove è inclinato al piano della sua orbita con un angolo di 3° 5' 30", così che l' azione del sole e dei satelliti stessi produce una nutazione e precessione (N. 91) nel suo equatore, precisamente simile a quella che ha luogo nella rotazione

della terra per l'azione del sole e della luna. Quindi la materia protuberante all'equatore di Giove continuamente cangia di posizione rispetto ai satelliti, e produce mutazioni corrispondenti nei loro moti. E siccome la causa deve essere proporzionale all'effetto, queste disuguaglianze somministrano i mezzi non solo di accertare la compressione della sferoide di Giove, ma provano ancora che la sua massa non è omogenea. Sebbene gli apparenti diametri dei satelliti siano troppo piccoli per essere misurati, pure le loro perturbazioni danno i valori delle loro masse con notabile esattezza; prova sorprendente della potenza dell'analisi.

Una legge singolare si ritrova tra i movimenti medii e le longitudini medie dei primi tre satelliti. Si vede per l'osservazione che il moto medio del primo satellite, più due volte quello del terzo, è eguale a tre volte quello del secondo, e che la longitudine media del primo satellite meno tre volte quella del secondo, più due volte quella del terzo, è sempre uguale a due angoli retti. Egli è dimostrato dalla teoria che se queste relazioni fossero approssimative, quando i satelliti furono da prima lanciati nello spazio, le loro mutue attrazioni le avrebbero stabilite e mantenute ad onta delle secolari inuguaglianze alle quali essi sono soggetti. Esse si estendono ai movimenti sinodici (N. 92) dei satelliti; conseguentemente influiscono sulle loro eclissi, ed hanno una grandissima influenza su tutta la loro teoria. I satelliti si muovono così vicino al piano dell'equatore di Giove, il quale ha pochissima inclinazione sulla sua orbita, che i primi tre sono eclissati ad ogni rivoluzione dall'ombra del pianeta, la quale è molto più grande che l'ombra della luna: il quarto satellite non è eclissato così di frequente come gli altri. Le eclissi hanno luogo vicino al disco di Giove, quando questo è vicino all'opposizione (N. 93); se non che in certi tempi l'ombra sua è così proiettata rispetto alla terra, che il terzo ed il quarto satellite spariscono e ri-

compariscono sullo stesso lato del disco (N. 94). Queste eclissi sono per tutti i rispetti simili a quelle della luna: ma qualche volta i satelliti eclissano Giove, ora passando davanti la sua superficie come oscure macchie, rassomigliando le eclissi anulari del sole, e talora sono simili a una macchia luminosa che attraversa una delle sue oscure fascie. Prima dell' opposizione, l' ombra del satellite, come una macchia nera tonda, precede il suo passaggio sopra il disco del pianeta, e dopo l' opposizione l' ombra segue il satellite.

In conseguenza delle relazioni già menzionate pei movimenti medii e per le medie longitudini dei primi tre satelliti, essi non possono essere mai eclissati tutti ad uno stesso tempo: perchè quando il secondo ed il terzo sono in una direzione, il primo è in una direzione opposta; per conseguenza quando il primo è eclissato, gli altri devono essere tra il sole e Giove. L' istante del principio o della fine di un' eclisse di un satellite segna l' istante stesso del tempo assoluto a tutti gli abitanti della terra; per questa ragione il tempo di queste eclissi osservate da un viaggiatore, quando sia paragonato al tempo dell' eclisse computato per Greenwich, o per altro meridiano fisso (N. 95), dà la differenza dei meridiani nel tempo, e per conseguenza la longitudine del luogo di osservazione. La longitudine è determinata con grandissima precisione ogniqualvolta è possibile trasmettere instantaneamente l' indicazione del tempo colla elettricità da un luogo all' altro, ovviandosi con questo mezzo agli errori degli orologi e dei cronometri. Le eclissi dei satelliti di Giove sono state occasione d' una scoperta, che sebbene non così immediatamente applicabile ai bisogni dell' uomo, spiega una delle proprietà della luce — di quel mezzo, senza del quale la influenza rallegrante di tutte le bellezze del creato sarebbe stata per noi perduta. Fu osservato che le eclissi del primo satellite che avvengono quando Giove è vicino alla congiunzione (N. 96) ritardano di 16'26''·6

più di quelle che hanno luogo quando il pianeta è in opposizione. Siccome Giove è più vicino a noi quando è in opposizione per tutta la larghezza dell'orbita terrestre che quando è in congiunzione, questa circostanza è da attribuirsi al tempo impiegato dai raggi luminosi nel traversare l'orbita della terra, distanza di circa 190,000,000 di miglia; quindi è stato calcolato che la luce si propaga in ragione di 192,000 miglia in un secondo. Tale è la sua velocità, che la terra muovendosi in ragione di 19 miglia per secondo, impiegherebbe due mesi per percorrere una distanza che un raggio di luce farebbe in 8 minuti. La susseguente scoperta dell'aberrazione della luce ha confermato pienamente questo risultato sorprendente.

Gli oggetti appariscono situati nella direzione dei raggi che procedono da loro. Se la luce si propagasse istantaneamente, ogni oggetto (tanto in quiete che in moto) comparirebbe nella direzione di questi raggi; ma siccome la luce mette qualche tempo a trasmettersi, noi veggiamo Giove in congiunzione mediante i raggi che lo lasciarono $16^m\ 26^s{\cdot}6$ prima: se non che durante questo tempo noi abbiamo cangiato la nostra posizione in conseguenza del movimento della terra nella sua orbita; noi per questo riportiamo Giove in un punto in cui esso non si ritrova. La sua vera posizione è nella diagonale (N. 97) del parallelogramma, i cui lati sono in ragione della velocità della luce alla velocità della terra nella sua orbita, che è come 192,000 a 19, ovvero circa come 10,000 ad 1. In conseguenza dell'aberrazione della luce i corpi celesti sembrano essere in punti nei quali non sono. In fatti, se la terra fosse in quiete, i raggi d'una stella passerebbero lunghesso l'asse del telescopio diretto ad essa: ma se la terra cominciasse a muoversi nella sua orbita con l'ordinaria sua velocità, questi raggi verrebbero a colpire il lato del tubo: sarebbe per questo necessario d'inclinare un poco il telescopio per vedere la stella. L'angolo formato dall'asse del telescopio ed una linea tirata

al vero luogo della stella è la sua aberrazione, che varia in quantità e direzione per differenti parti dell'orbita terrestre: ma siccome essa è solo di 20″·481, è impercettibile nei casi ordinari (N. 98).

La velocità della luce dedotta dall'osservata aberrazione delle stelle fisse corrisponde perfettamente con quella data dalle eclissi del primo satellite. Il risultato stesso ottenuto da sorgenti tanto diverse non lascia dubbio sulla sua verità. Molte di tali belle coincidenze derivate da circostanze in apparenza le più inaspettate e dissimili, occorrono nell'astronomia fisica, e provano connessioni che noi non potremmo in altri modi rintracciare. L'identità della velocità della luce alla distanza di Giove e sulla superficie della terra dimostra che la sua velocità è uniforme; e siccome la luce consiste nelle vibrazioni d'un mezzo elastico o etere che riempie lo spazio, la uniformità della sua velocità dimostra che la densità del mezzo a traverso tutta l'estensione del sistema solare deve essere proporzionale alla sua elasticità (N. 99). Fra le fortunate congetture che sono state confermate dalla susseguente esperienza, quella di Bacone non è la meno notevole: « Nasce in me il dubbio, dice il Restauratore della vera Filosofia, nasce in me il dubbio, se la faccia dei cieli sereni e stellati sia veduta all'istante che realmente esiste, o se non dopo qualche tempo; e se non vi sia, rispetto i corpi celesti, un tempo vero ed un tempo apparente, non meno che una posizione vera ed una posizione apparente, come dicono gli astronomi, rispetto alla parallasse. Perchè sembra incredibile che le imagini o i raggi de' corpi celesti possano passare per gl'immensi intervalli tra essi e noi in un istante stesso, o che essi non abbiano bisogno ancora di qualche porzione notevole di tempo. »

Le grandi scoperte generalmente conducono ad una varietà di conclusioni: l'aberrazione della luce somministra una prova diretta del movimento della terra nella sua orbita; e la sua rotazione è provata dalla teoria

de'corpi cadenti, perchè la forza centrifuga ritarda le oscillazioni del pendolo (N. 100) andando dal polo all' equatore. Quanta profondità di cognizioni scientifiche è stata necessaria per rettificare gli errori dei sensi (N. 237).

Il poco che si conosce delle teorie dei satelliti di Saturno e di Urano è sotto tutti i rispetti simile a quello dei satelliti di Giove. Saturno è accompagnato da otto satelliti. Il settimo è circa della grandezza di Marte, e l' ottavo fu scoperto simultaneamente dal Bond in America, e dal distinto astronomo Lassell di Liverpool. Le orbite dei due ultimi hanno una sensibile inclinazione al piano dell' anello: ma la grande compressione di Saturno obbliga gli altri satelliti di muoversi quasi nel piano del suo equatore. Tante circostanze devono concorrere a rendere visibili i due satelliti interni, che essi rarissime volte sono stati veduti. Essi si muovono esattamente all' orlo dell' anello, e le loro orbite non deviano mai dal suo piano. Nel 1789 Guglielmo Hersohel li vide come pallottoline bucate che infilavano la sottile linea di luce a che l' anello è ridotto, quando si vede a sghembo dalla terra. E per un breve tempo egli li vide avanzarsi ad ogni estremità rivolgendosi nelle loro orbite. L' eclissi dei satelliti esterni solo accadono, quando l' anello è in quella posizione. Lassell con un potentissimo telescopio, fatto da lui, ha veduto Giapeto, il più vicino dei due, in parecchie occasioni, anche quando l' apertura dell' anello era grandissima, ciò che rende molto difficile vedere un così piccolo oggetto. Non sappiamo niente della situazione dell' equatore di Urano nè della sua compressione, ma le orbite de' suoi satelliti sono quasi perpendicolari al piano dell' eclittica, e per analogia esse devono ritrovarsi nel piano del suo equatore. Urano è tanto lontano, che esso ha più l' apparenza d' una nebulosa planetaria che d' un pianeta; il che rende assai difficile distinguere bene i satelliti; e affatto senza speranza, se non per mezzo di tale telescopio che anche ra-

ramente s'incontra negli Osservatorii. Guglielmo Herschel scoperse i due che sono i più lontani dal pianeta, e conobbe i loro periodi approssimativi, che suo figlio in appresso determinò essere di $13^g, 11^{or}, 7^m, 12^{s}\cdot 6$ e di $8^g, 16^{or}, 56^m\ 28^{s}\cdot 5$ rispettivamente. Le orbite di ambedue sembrano avere una inclinazione di circa $101^{\circ}\cdot 2$ al piano dell'eclittica. I due satelliti interni sono così fini e piccoli e così vicini all'orlo del pianeta, che possono difficilmente esser veduti anche nelle più favorevoli circostanze: ma però Lassell si è assicurato che il più distante dei due gira attorno Urano in quattro giorni, e il più vicino al pianeta in $2\ \frac{1}{2}$, e dopo un lungo e minuto esame egli fu convinto che il sistema si componga solamente di quattro satelliti. Appena veduto Nettuno, Lassell scoprì il solo satellite conosciuto appartenere a questo pianeta. I satelliti di Urano e Nettuno, i due pianeti più remoti del sistema solare, offrono il singolare ed unico esempio di rivoluzione dall'est all'ovest, mentre tutti i pianeti e tutti gli altri satelliti girano dall'ovest all'est. Un movimento retrogrado è alle volte riscontrato nelle comete e nelle stelle doppie.

SEZIONE V.

Teoria lunare — Perturbazioni periodiche della luna — Equazione del centro — Evezione — Variazione — Equazione annuale — Azione diretta e indiretta dei pianeti — L'azione della luna sulla terra disturba il movimento di quella — Eccentricità ed inclinazione dell'orbita della luna invariabile — Accelerazione — Variazione secolare nei nodi e nel perigeo — Movimento dei nodi e del perigeo connesso inseparabilmente con l'accelerazione — Nutazione dell'orbita lunare — Forma e struttura interna della terra determinata da quelle — Eclissi lunare, solare e planetare — Occultazioni e distanze lunari — Distanza media del sole dalla terra ottenuta dalla teoria lunare — Come si ritrovano le distanze assolute dei pianeti.

La nostra compagna costante, la luna, richiede ora la nostra attenzione. Molte circostanze concorrono a rendere i suoi movimenti del massimo interesse ed al tempo stesso i più difficili ad investigarsi tra tutti quelli dei corpi del nostro sistema. Nel sistema solare il pianeta perturba il pianeta, ma nella teoria lunare, il sole è la grande causa perturbatrice; la sua immensa distanza essendo compensata dalla sua enorme grandezza, così i movimenti della luna sono più irregolari che quelli dei pianeti, e per rispetto alla grande ellitticità dell'orbita di lei e della grandezza del sole, i calcoli approssimativi dei movimenti lunari sono tediosi e difficili oltre quello che possono imaginare coloro i quali non sono assuefatti a tal genere d'investigazioni. La distanza media della luna dal centro della terra è soltanto di 238,793 miglia, così che il suo movimento tra le stelle è percettibile in poche ore. Essa compisce un giro dei cieli in $27^{g}\cdot 7^{or}\cdot 43^{m}11^{s}\cdot 5$, muovendosi in un'orbita, la cui eccentricità è circa di 12,985 miglia. La luna è circa 400 volte più vicina alla terra che il sole: la prossimità sua alla terra le tiene insieme, perchè così grande è l'attrazione del sole, che se la luna fosse più lontana dalla terra, quella abbandone-

rebbe questa all' istante e girerebbe come un pianeta indipendente attorno il sole.

L' azione perturbatrice (N. 101) del sole sulla luna è equivalente a tre forze: la prima, agendo nella direzione della linea che unisce la luna e la terra, cresce o diminuisce la sua gravità verso la terra; la seconda, agendo nella direzione d' una tangente alla sua orbita, perturba il suo movimento in longitudine; e la terza, agendo perpendicolarmente al piano dell' orbita sua, disturba il suo movimento in latitudine, cioè la porta più vicino o la allontana di più dal piano dell' eclittica di quello che altrimenti sarebbe. Le perturbazioni periodiche nella luna, nascendo da queste forze, sono perfettamente simili alle perturbazioni periodiche dei pianeti. Ma esse sono molto più numerose e maggiori, perchè il sole è così grande che molte disuguaglianze che sono del tutto impercettibili nei movimenti dei pianeti sono di grande ampiezza in quelli della luna. Fra le innumerevoli disuguaglianze periodiche a cui il movimento lunare in longitudine è sottomesso, le più notabili sono l' equazione del centro, che è la differenza tra la longitudine media e vera della luna, l' evezione, la variazione e l' equazione annua. La forza perturbatrice che agisce nella linea che congiunge la luna con la terra produce l' evezione: questa diminuisce l' eccentricità dell' orbita lunare nella congiunzione e nell' opposizione, rendendola per questo più circolare, e l' aumenta nella quadratura, il che per conseguenza la rende più ellittica. Il periodo di questa disuguaglianza è minore di 32 giorni. Se l' aumento e la diminuzione fossero sempre gli stessi, l' evezione dipenderebbe solo dalla distanza della luna dal sole: ma il suo assoluto valore varia pure colla sua distanza dal perigeo (N. 102) della orbita lunare. Gli antichi astronomi che osservavano la luna soltanto con lo scopo della predizione dell' eclissi, le quali possono solo accadere nella congiunzione e nell' opposizione, dove l' eccentricità è diminuita dall' evezione,

davano un valore troppo piccolo all' ellitticità della sua orbita (N. 103). L' evezione fu scoperta da Tolomeo per mezzo della osservazione circa l' anno 140 del Signore. La variazione prodotta dalla forza perturbatrice tangenziale che è al suo massimo quando la luna è distante 45° dal sole, svanisce quando questa distanza ammonta al quadrante, ed ancora quando la luna è in congiunzione o in opposizione; conseguentemente questa disuguaglianza non poteva essere giammai scoperta per mezzo delle eclissi: il suo periodo è la metà di un mese lunare (N. 104). L' equazione annua dipende dalla distanza del sole dalla terra: essa deriva dal movimento della luna che è accelerato quando quello della terra è ritardato e viceversa: perchè quando la terra è nel suo perielio, l' orbita lunare è allargata per l' azione del sole: per questo la luna richiede maggior tempo a compire la sua rivoluzione. Ma, come la terra accostasi al suo afelio, l' orbita lunare si contrae, e tempo minore è necessario alla luna per compire il suo movimento: il suo periodo conseguentemente dipende dal tempo dell' anno. Nell' eclissi l' equazione annua combinasi con l' equazione del centro dell' orbita terrestre, così che gli antichi astronomi imaginavano che l' orbita terrestre avesse un' eccentricità maggiore di quella che i moderni le assegnano.

I pianeti disturbano il movimento della luna direttamente e indirettamente: la loro azione sulla terra altera la sua relativa posizione rispetto al sole e alla luna, e cagiona disuguaglianze nel movimento lunare che sono più considerevoli di quelle che derivano dalla loro azione diretta: per la stessa ragione la luna disturbando la terra perturba indirettamente il suo proprio movimento. Nè l' eccentricità dell' orbita lunare nè la sua media inclinazione al piano dell' eclittica hanno provato cangiamenti dalle disuguaglianze secolari; perchè, sebbene l' azione media del sole sulla luna dipenda dall' inclinazione dell' orbita lunare sull' eclittica, e la posizione di questa sia

soggetta ad una secolare disuguaglianza, l'analisi dimostra che questo non cagiona una variazione secolare nell'inclinazione dell'orbita lunare, perchè l'azione del sole costantemente porta l'orbita della luna alla stessa inclinazione sull'eclittica. Il movimento medio, i nodi ed il perigeo nondimeno sono sottoposti a variazioni notevolissime.

Dall'eclisse osservata dai Caldei in Babilonia il 19 marzo dell'anno 721 prima dell'era cristiana, la posizione della luna è nota riguardo quella del sole nell'istante dell'opposizione (83): quindi può essere ritrovata la sua media longitudine. Ma il paragone di questa media longitudine con altra longitudine media computata indietro per l'istante di quell'eclisse colle moderne osservazioni, dimostra che la luna ora compie la sua rivoluzione attorno la terra più rapidamente ed in un tempo più breve di quello che facesse anticamente, e che l'accelerazione nel suo movimento medio è stata accresciuta di secolo in secolo come il quadrato del tempo (105). Tutte le eclissi antiche ed intermedie confermano questo risultato. Siccome i movimenti medii dei pianeti non hanno secolari disuguaglianze, questo sembrava essere un'anomalia inesplicabile. Ciò fu in un certo tempo attribuito alla resistenza d'un mezzo etereo che invade lo spazio, ed in un'altra epoca alla successiva trasmissione della forza di gravitazione. Ma siccome La Place provò che nessuna di queste cause, se anche esistessero, hanno alcuna influenza sui movimenti del perigeo lunare (102) o sui nodi, esse non potrebbero influire sul movimento medio; dappoichè una variazione nel movimento medio proveniente da tali cause sarebbe inseparabilmente connessa con le variazioni nei movimenti del perigeo e dei nodi. Quel grande matematico studiando la teoria dei satelliti di Giove capì che la secolare variazione negli elementi dell'orbita di Giove, per l'azione dei pianeti, cagiona corrispondenti cangiamenti nei movimenti dei satelliti, il che lo condusse a sospet-

tare che l'accelerazione nel movimento medio della luna può essere connessa con la variazione secolare nell' eccentricità dell' orbita terrestre. L' analisi ha fatto vedere che egli ha indicata la ragione vera dell' accelerazione.

È stato provato che maggiore è l'eccentricità dell' orbita terrestre, maggiore è l' azione disturbatrice del sole sulla luna. Ora, siccome l'eccentricità è stata decrescente per dei secoli, nella durata di questo tempo l' effetto del sole nel disturbare la luna, è stato pur decrescente. Per conseguenza l' attrazione della terra ha avuto sempre più potente effetto sulla luna ed è stata continuamente in diminuzione la grandezza dell' orbita lunare. Così che la velocità della luna si è gradatamente aumentata per parecchi secoli per bilanciare l' aumento dell' attrazione della terra. Questo secolare aumento nella velocità della luna è detto Accelerazione, nome peculiarmente appropriato in oggi, e che continuerà essere tale per un gran numero di secoli, perchè, per quanto diminuirà l' eccentricità terrestre, il movimento medio della luna sarà accelerato; ma quando l' eccentricità avrà passato il suo minimo e comincerà a crescere, il movimento medio sarà ritardato di secolo in secolo. L' accelerazione secolare è ora circa $11''{\cdot}9$, ma il suo effetto sulla posizione della luna cresce come il quadrato del tempo (N. 106). È da notarsi che l' azione dei pianeti così riflessa pel sole alla luna è molto più sensibile che la loro azione diretta tanto sulla terra che sulla luna. La secolare diminuzione nella eccentricità che non ha alterato l' equazione del centro del sole che di 8 minuti dalle primissime eclissi di cui si abbia memoria, ha prodotto una variazione di circa $1°\ 48'$ nella longitudine lunare, e di $7°\ 12'$ nella su anomalia media (N. 108).

L' azione del sole cagiona un movimento rapido ma variabile nei nodi e nel perigeo dell' orbita lunare. Sebbene i nodi siano retrogradi durante la maggior parte della rivoluzione lunare ed avanzino durante la minore,

essi compiono la loro siderale rivoluzione in 6793 giorni 9 ore, 23 minuti $9^{s}\cdot3$, o circa 18 anni 6 mesi e 10 giorni; ed il perigeo compie una rivoluzione chiamata gli apsidi della luna in 3232 giorni $13^{or}\cdot48^{m}\cdot29^{s}\cdot6$, ossia un poco più di 9 anni, nonostante il suo movimento qualche volta retrogrado, qualche volta diretto: ma tale è la differenza tra la forza disturbatrice del sole e quella di tutti i pianeti posti insieme, che si richiede non meno di 109,830 anni perchè l'asse maggiore dell'orbita terrestre faccia lo stesso, muovendosi in ragione di $11''\cdot8$ annualmente. La forma della terra non ha sensibile effetto nè sui nodi lunari nè sugli apsidi. È evidente che la stessa secolare variazione che cangia la distanza del sole dalla terra e cagiona l'accelerazione nel movimento medio lunare, deve influire sui nodi e sul perigeo. In conseguenza apparisce e dalla teoria e dalla osservazione che questi due elementi sono soggetti a secolare disuguaglianza, nascente dalla variazione nella eccentricità dell'orbita terrestre che li connette con l'Accelerazione, in modo che ambedue sono ritardati, quando il movimento medio è anticipato. Le secolari variazioni in questi tre elementi sono in ragione dei numeri 3, $0\cdot735$ e 1; quindi i tre movimenti della luna rispetto al sole, al perigeo proprio ed ai propri nodi, sono continuamente accelerati, e le loro secolari equazioni sono come i numeri $1,4\cdot702$, e $0\cdot612$. Il confronto fra le eclissi antiche osservate dagli Arabi, Greci e Caldei, imperfette come sono, con le moderne osservazioni, conferma questi risultati dell'analisi. Le età future svilupperanno queste grandi disuguaglianze che in qualche più lontano periodo ammonteranno a molte circonferenze (N. 108): esse invero sono periodiche; ma chi dirà il loro periodo? milioni d'anni devono trascorrere prima che questo gran ciclo sia compito.

La luna è tanto a noi vicina, che l'eccesso di materia all'equatore terrestre cagiona variazioni periodiche nella sua longitudine, ed ancora lo stesso avviene per

quella notabile disuguaglianza nella sua latitudine, già menzionata come una nutazione nell' orbita lunare che diminuisce la sua inclinazione all' eclittica, quando il nodo ascendente della luna coincide con l' equinozio di primavera, e l' aumenta, quando il nodo coincide coll' equinozio d' autunno. Ma siccome la causa deve essere proporzionale all' effetto, un paragone di queste disuguaglianze calcolate dalla teoria con quelle date dall' osservazione, dimostra che la compressione della sferoide terrestre o la ragione della differenza tra il diametro polare e l' equatoriale, al diametro dell' equatore è $\frac{1}{305 \cdot 05}$. Egli è provato analiticamente che se una massa fluida di materia omogenea, le cui particelle attraggonsi l' una l' altra in ragione inversa dei quadrati della distanza, cominciasse a rivolgersi attorno ad un asse come fa la terra, assumerebbe la forma d' una sferoide, la cui compressione è $\frac{1}{230}$. Poichè questo non è il caso, la terra non può essere omogenea, ma deve decrescere in densità dal suo centro alla sua circonferenza. Così l' eclissi della luna dimostrano la terra essere rotonda, e le sue disuguaglianze non solo determinano la forma, ma ancora la struttura interna del nostro pianeta: risultati dell' analisi che non potevano essere anticipati. Disuguaglianze simili nei movimenti dei satelliti di Giove provano che la sua massa non è omogenea e che la compressione è $\frac{1}{13 \cdot 8}$. Il suo diametro equatoriale eccede il suo diametro polare di circa 6000 miglia.

Le fasi (N. 109) della luna che variano da un sottile argenteo crescente, subito dopo la congiunzione, fino ad un completo disco circolare luminoso nell' opposizione, decrescono per gli stessi gradi sino a che la luna è di nuovo avviluppata nei raggi mattutini del sole. Questi cambiamenti regolano i ritorni dell' eclissi. Quelle del sole possono soltanto accadere nella congiunzione, quando la luna arrivando fra la terra e il sole intercetta la luce solare: quelle della luna, sono cagionate dalla terra che interviene

tra il sole e la luna quando questa è in opposizione. Siccome la terra è opaca e quasi sferica, essa manda sulla parte della luna opposta al sole un' ombra conica, l'asse della quale passa per i centri del sole e della terra (N. 110). La lunghezza dell'ombra termina al punto dove gli apparenti diametri (N. 111) del sole e della terra sarebbero i medesimi. Quando la luna è in opposizione e alla media distanza, il diametro del sole sarebbe veduto dal centro lunare sotto un angolo di 1918″·1; quello della terra apparirebbe sotto un angolo di 6908″·3. Così che la lunghezza dell' ombra è almeno tre volte e mezzo maggiore che la distanza della luna dalla terra, e la larghezza dell'ombra, dove è attraversata dalla luna, è circa otto terzi del diametro lunare. Quindi la luna sarebbe eclissata ogni volta che è in opposizione, se non fosse per l'inclinazione dell' orbita sua al piano dell' eclittica, in conseguenza della quale la luna in opposizione è o al di sopra o al di sotto del cono dell' ombra terrestre, eccetto quando è nei nodi o vicino ad essi. La sua posizione rispetto a loro cagiona tutte le varietà nelle eclissi lunari. Ogni punto della superficie lunare successivamente perde la luce di parti differenti del disco solare prima di essere eclissata. Il suo splendore per questo diminuisce a gradi, prima che si immerga nell' ombra della terra. La larghezza dello spazio occupato dalla penombra (N. 112) è eguale all'apparente diametro del sole, come se fosse veduto dal centro della luna. La durata media d'una rivoluzione del sole rispetto al nodo dell' orbita lunare sta alla durata d' una rivoluzione sinodica (N. 113) della luna come 223 a 19: così che dopo un periodo di 223 mesi lunari, il sole e la luna ritornerebbero alla stessa relativa posizione quanto al nodo dell'orbita lunare, e perciò le eclissi ricorrerebbero nell'ordine stesso se i periodi non fossero alterati dalla irregolarità nei movimenti della luna e del sole. Nelle eclissi lunari la nostra atmosfera piega i raggi del sole che passano attraverso ad essa tutt' attorno al cono dell' ombra

terrestre. E siccome la refrazione orizzontale (N. 114) o la detta piegatura dei raggi sorpassa la metà della somma dei semidiametri del sole e della luna, divisa per la loro mutua distanza, il centro del disco lunare supposto esser nell' asse dell' ombra, riceverebbe i raggi dall' istesso punto del sole attorno a tutti i punti della terra, in modo ch' essa sarebbe più illuminata che nella luna piena, se la maggiore porzione della luce non fosse arrestata o assorbita dall' atmosfera. Si ricordano esempi ne' quali questa debole luce è stata interamente assorbita, così che la luna è scomparsa affatto nelle sue eclissi.

Il sole è eclissato quando la luna intercetta i raggi solari (N. 115). La luna sebbene incomparabilmente minore del sole, è tanto più vicina alla terra che il diametro suo apparente differisce di poco da quello del sole, ma tutti e due sono soggetti a tali variazioni, che alternativamente si sorpassano l' un l' altro. Se l' occhio dello spettatore fosse nella stessa linea retta dei centri solare e lunare, vedrebbe il sole eclissato. Se l' apparente diametro della luna sorpassasse quello del sole, l' eclisse sarebbe totale; e se il detto diametro lunare fosse minore, l' osservatore vedrebbe un anello di luce intorno il disco lunare, e l' eclisse sarebbe annulare, come fu quella del 17 maggio 1836 e del 15 marzo 1858. Se il centro della luna non fosse nella linea retta che congiunge i centri del sole e dell' occhio dell' osservatore, la luna potrebbe solo eclissare una parte del sole. La variazione per questo nelle distanze del sole e della luna dal centro della terra e della luna dal suo nodo all' istante della congiunzione, cagiona grandi varietà nelle eclissi solari. In oltre l' altezza della luna sopra l' orizzonte cangia l' apparente suo diametro e può aumentare o diminuire le distanze apparenti dei centri solare e lunare, così che un' eclisse del sole può presentarsi agli abitanti d' un paese e non a quelli d' un altro. Sotto questo rispetto le eclissi solari differiscono dalle lunari, che sono le stesse in ogni parte della

terra dove la luna è sopra l'orizzonte. Nelle eclissi solari la luce riflessa dall'atmosfera terrestre diminuisce l'oscurità ch'esse producono. Nell'eclissi totali ancora la parte più alta dell'atmosfera è illuminata da una porzione del disco solare e riflette i suoi raggi sulla terra. L'intiero disco della luna nuova è spesso visibile per la riflessione atmosferica. Durante l'eclisse del 19 marzo 1849 le macchie sul disco lunare erano distintamente visibili, e durante quella del 1856 la luna era come una bella palla colorata in rosa, ondeggiante nell'etere: il colore era dovuto alla rifrazione della luce del sole che passava per l'atmosfera della terra.

Nelle eclissi solari totali il sottile arco luminoso che è visibile per pochi secondi prima che il sole svanisca ed anche prima che esso ricomparisca, s'assomiglia ad una corda di perle che circonda l'oscuro orlo della luna: ciò deriva dai raggi solari che passano tra le cime delle montagne lunari, cosa che s'incontra anche nelle eclissi annulari.

Un fenomeno sino a qui senza precedente fu veduto durante l'eclisse totale del sole che accadde all'8 luglio 1842. La luna era simile ad una macchia nera sul firmamento circondata da una debole luce bianchiccia o corona, circa l'ottavo del diametro lunare in larghezza, e che si suppose essere l'atmosfera solare fatta visibile per la presenza della luna. In questa corona bianchiccia apparivano tre fiamme rosee della forma dei denti di una sega. Fiamme simili furono pur vedute nella bianca corona della eclisse totale che accadde nel 1851, ed una lunga catena colorata in rosa che aveva l'apparenza di montagne dentellate o sierre unite alla base per una fascia rossa, sembrava innalzarsi nella corona come per effetto di miraggio: ma non vi è dubbio che la corona e i fenomeni rossi appartengano al sole. Questa catena rossa era così brillante che Airy la vide illuminare l'orizzonte settentrionale tra un azimuth di 90° con luce rossa. Faye at-

tribuisce le protuberanze colorate in rosa alla costituzione del sole, che, del pari a Guglielmo Herschel, egli immagina essere un globo incandescente, formato di due parti concentriche di disugualissima densità, essendo la parte interna una massa sferica oscura, l'esterna una estesissima atmosfera, ad una certa altezza della quale vi è uno strato di nubi luminose, che costituisce l'atmosfera luminosa solare; sopra questa s'innalza la sua atmosfera reale, così rarefatta da essere solo visibile come una bianca aureola, o corona, durante le eclissi totali ed annulari. Faye crede che dalla massa centrale escano eruzioni gassose, le quali formano le macchie dissipando ed estinguendo in parte le nubi luminose, e quindi innalzandosi nella rarefatta atmosfera sopra la quale esse compariscono come protuberanze colorate di rosa nel tempo delle eclissi annulari. Egli crede che il volume di questi vapori qualche volta sorpassi quello della terra mille od anche due mila volte. Guglielmo Herschel attribuisce le macchie alle aperture accidentali della veste luminosa, che pare essere sempre in movimento. Ma qualunque possa essere la causa delle macchie, esse sono certamente periodiche. La corona bianca e le perle furono vedute nella eclisse del 15 marzo 1858, ma non vi erano le apparenze colorate in rosa, almeno in Inghilterra; se non che il firmamento era nuvoloso così, che l'eclisse fu solo visibile ad intervalli.

I pianeti si eclissano alle volte vicendevolmente. Nel 17 maggio 1737, Mercurio fu eclissato da Venere vicino la loro congiunzione inferiore; Marte passò sopra Giove il 9 gennaio 1591; e nel 30 ottobre 1825 la luna eclissò Saturno. Questi fenomeni nondimeno accadono rarissime volte, perchè tutti i pianeti, o una parte di essi, sono rarissimamente veduti in congiunzione in un medesimo tempo, cioè nella stessa parte dei cieli al tempo stesso. Più di 2500 anni prima dell'èra nostra i cinque grandi pianeti furono in congiunzione. Ai 15 settembre 1186 un

simile assembramento ebbe luogo tra le costellazioni della Vergine e della Libbra; e nel 1801 la Luna, Giove, Saturno e Venere erano uniti nel cuore del Leone. Queste congiunzioni sono tanto rare, che Lalande ha calcolato che più di diciasette milioni di milioni d'anni separano le epoche delle congiunzioni contemporanee dei sei grandi pianeti.

I movimenti della luna sono ora diventati di maggiore importanza al navigatore e al geografo che quelli di qualunque altro corpo celeste, per la precisione colla quale viene determinata la longitudine terrestre dall'occultazioni delle stelle e dalle distanze lunari. In conseguenza del movimento retrogrado dei nodi dell'orbita lunare in ragione di 3'·10''·64 al giorno, questi punti fanno un giro dei cieli in poco più di diciotto anni e mezzo. Questo cagiona che la luna si muova attorno alla terra in una specie di spirale, così che il suo disco a tempi differenti passa sopra ogni punto d'una zona celeste che si estende più di 5° 9' ai due lati dell'eclittica. Egli è pertanto evidente che in un tempo o nell'altro essa deve eclissare ogni stella e pianeta che incontra in questo spazio. Per questo l'occultazione di una stella per mezzo della luna è un fenomeno che frequentemente avviene. La luna sembra passare sopra la stella che quasi istantaneamente svanisce ad un lato del disco della stessa, e dopo breve tempo a un tratto ricomparisce dall'altro. Una distanza lunare è la distanza osservata della luna dal sole, o da una stella particolare o da un pianeta, ad un istante qualunque. La teoria lunare è portata a tale perfezione, che i tempi di questi fenomeni osservati sotto un meridiano quando sieno paragonati con quelli computati per Greenwich, e dati nell'Almanacco nautico, danno la longitudine dell'osservatore colla differenza di poche miglia (N. 95).

Colla teoria lunare si conosce la media distanza del sole dalla terra, e quindi tutte le dimensioni del sistema solare sono conosciute; perchè le forze che ritengono la

terra e la luna nelle loro orbite sono rispettivamente proporzionali ai raggi vettori della terra e della luna, ognuno diviso pel quadrato del suo tempo periodico. E siccome la teoria lunare dà la ragione delle forze, se ne ottiene la ragione delle distanze del sole e della luna dalla terra. Quindi ne risulta che la distanza media del sole dalla terra è 399·7 o quasi 400 volte maggiore di quella della luna. Il metodo di ritrovare le distanze assolute dei corpi celesti in miglia è in fatto lo stesso, che quello usato nella misura delle distanze degli oggetti terrestri. Dalle estremità d' una base cognita (N. 116) si misurano gli angoli che i raggi visuali dell' oggetto formano con quella base; la loro somma sottratta da due angoli retti dà l' angolo opposto alla base; pertanto con la trigonometria tutti gli angoli e i lati d' un triangolo possono essere calcolati, e conseguentemente la distanza d' un oggetto è ritrovata. L' angolo sotto il quale la base del triangolo è veduta dall' oggetto, è la parallasse di quest' oggetto. Egli è evidente che l' angolo suddetto cresce e decresce con la distanza. Per questo la base deve essere grandissima infatti per essere visibile dai corpi celesti. Il globo stesso, le cui dimensioni si ottengono per mezzo della effettiva misurazione, somministra un modello di misure, col quale noi paragoniamo le distanze, le masse, le densità, e i volumi del sole e dei pianeti.

SEZIONE VI.

Forma della terra e dei pianeti — Figura d'una sferoide omogenea in rotazione — Figura d'una sferoide di densità variabile — Figura della terra supponendo che sia un'ellissoide di rivoluzione — Misura d'un grado del Meridiano — Compressione e grandezza della terra data dai gradi del meridiano — Figura della terra data dal pendolo.

La ricerca teoretica della figura della terra e dei pianeti è così complicata, che nè la geometria di Newton nè l'accurata analisi di La Place ha ottenuto più che una approssimazione. È solo da pochi anni che una soluzione completa e finita di questo difficile problema è stata data da un nostro distinto concittadino, Ivory. Tale investigazione è stata condotta per gradi successivi, cominciando con un caso semplice e quindi procedendo al più difficile. Ma in generale le forze che cagionano le rivoluzioni della terra e dei pianeti sono ommesse, a motivo che agendo egualmente sopra tutte le particelle, esse non disturbano le loro mutue relazioni. Una massa fluida di uniforme densità le cui particelle mutuamente gravitano l'una sull'altra, assumerà la forma d'una sfera quando è in riposo. Ma se la sfera comincia a ruotare, ogni particella descriverà un cerchio (N. 117) che ha il suo centro nell'asse di rivoluzione. I piani di tutti questi cerchi saranno paralleli l'uno all'altro e perpendicolari all'asse, e le particelle avranno una tendenza a fuggire da quest'asse in conseguenza della forza centrifuga che nasce dalla velocità della rotazione. La forza di gravità è dovunque perpendicolare alla superficie (N. 118) ed è diretta all'interno della massa fluida, mentre la forza centrifuga agisce perpendicolarmente all'asse di rotazione ed è diretta all'esterno. E siccome la sua intensità diminuisce con la distanza dall'asse di rotazione, essa decresce dall'equatore ai poli, dove cessa. Ora è chiaro che queste

due forze sono in diretta opposizione l'una all'altra solo nell'equatore, e che la gravità è qui diminuita per l'intero effetto della forza centrifuga, mentre in ogni altra parte del fluido, la forza centrifuga si risolve in due parti, una delle quali essendo perpendicolare alla superficie, diminuisce la forza di gravità, ma l'altra essendo nella tangente alla superficie spinge le particelle verso l'equatore, dove s'accumulano sino a che il loro numero compensa la diminuzione della gravità, il che fa che la massa gonfi all'equatore e diventi piatta ai poli. È chiaro quindi che la influenza della forza centrifuga è più potente all'equatore, non solo perch'è realmente maggiore qui che in qualunque altro luogo, ma perchè l'intiero effetto suo è impiegato nel diminuire la gravità, mentre in ogni altro punto della massa fluida, è solo una parte quella che è in tal maniera impiegata. Per ambedue queste ragioni essa decresce gradatamente verso i poli, dove finisce. Al contrario la gravità è minima all'equatore, perchè le particelle sono più lontane dal centro della massa, e cresce verso i poli, dov'è massima. È chiaro che siccome la forza centrifuga è molto minore della forza di gravità, la gravitazione che è la differenza fra le due, è minore all'equatore e continuamente cresce verso i poli, dove essa ritrovasi al suo massimo. Su questi principii Newton provava che una massa fluida omogenea (N. 119) in rotazione assume la forma di una ellissoide di rivoluzione (N. 120), la cui compressione è di $\frac{1}{230}$. Questa nondimeno non può essere la forma della terra, a motivo che gli strati crescono in densità verso il centro. Le disuguaglianze lunari ancora provano che la terra è costituita così; fu per questo necessario di considerare che la massa fluida fosse di variabile densità. Comprendendo nel calcolo questa condizione, si è ritrovato che la massa quando è in rotazione assumerebbe sempre la forma di una ellissoide di rivoluzione (N. 120); che le particelle di densità eguale si collocherebbero da sè stesse in istrati ellittici concentrici (N. 121),

essendo i più densi nel centro; ma che la compressione o lo schiacciamento sarebbe minore, che nel caso del fluido omogeneo. La compressione è sempre minore, quando la massa è considerata essere, come è realmente, un nucleo solido che decresce regolarmente in densità dal centro alla superficie, e parzialmente coperto dall' oceano, perchè le parti solide per la loro coesione quasi distruggono quella parte della forza centrifuga che dà alle particelle una tendenza, sebbene non del tutto soddisfatta, di accumularsi all'equatore; diversamente il mare, per la mobilità superiore delle sue particelle, scorrerebbe verso l' equatore e lascerebbe asciutti i poli. In oltre è ben noto che i continenti all' equatore sono più elevati di quel che lo siano in più alte latitudini. Egli è ancora necessario per l' equilibrio dell' oceano che la sua densità sia minore della densità media della terra, altrimenti i continenti sarebbero di continuo soggetti alle inondazioni per le burrasche ed altre cause. In generale apparisce dalla teoria che una linea orizzontale che passi attorno la terra per i due poli, deve essere approssimativamente un' ellisse che ha il suo asse maggiore nel piano dell'equatore, e l'asse minore coincidente coll' asse di rotazione della terra (N. 122). È facile a dimostrarsi in una sferoide i cui strati sieno ellittici, che l'aumento dei raggi in lunghezza (N. 123), il decremento di gravitazione, e l'aumento nella lunghezza degli archi del meridiano corrispondenti agli angoli di un grado, dai poli all' equatore, sono tutti proporzionali al quadrato del coseno della latitudine (N. 124). Queste quantità sono così connesse colla ellitticità della sferoide, che il totale aumento nella lunghezza dei raggi è eguale alla compressione o schiacciamento, e la totale diminuzione nella lunghezza degli archi è eguale alla compressione moltiplicata per tre volte la lunghezza d'un arco di un grado all'equatore. Quindi misurando la curvatura meridiana della terra, la compressione, e conseguentemente la sua figura, diventano

note. Questo, in fatti, si avvera ammettendo che la terra sia una ellissoide di rivoluzione; ma la reale misura del globo mostrerà quanto da lungi questo corrisponda ad un tale solido in figura ed in costituzione.

I corsi dei grandi fiumi che sono in generale navigabili per una notabile lunghezza, provano che la curvatura della terraferma differisce ben poco da quella dell'oceano; e siccome le altezze delle montagne e dei continenti sono insignificanti quando vengono paragonate con la grandezza della terra, la sua figura s'intende sia determinata da una superficie in ogni punto perpendicolare alla direzione della gravitazione o della linea a piombo, ed è quella stessa che avrebbe il mare se fosse continuato tutto attorno la terra sotto i continenti. Questa è la figura la quale è stata misurata nella maniera seguente:

Un meridiano terrestre è una linea che passa per i due poli, tutti i punti della quale hanno contemporaneamente il loro mezzodì. Se fossero note le lunghezze e le curvature dei differenti meridiani, la figura della terra potrebbe essere determinata. Ma la lunghezza d'un grado è sufficiente a dare la figura della terra, se è misurato in differenti meridiani ed in varie latitudini. Perocchè se la terra fosse una sfera, tutti i gradi sarebbero della stessa lunghezza; ma se non lo è, le lunghezze dei gradi sarebbero maggiori, esattamente in proporzione che la curvatura è minore. Un paragone delle lunghezze d'un grado in differenti parti della superficie terrestre determinerà per questo la grandezza e la forma sua.

Un arco del meridiano può essere misurato determinando la latitudine de' suoi punti estremi col mezzo di osservazioni astronomiche (N. 125), e quindi misurando la distanza tra loro in piedi o in tese. La distanza così determinata sulla superficie della terra, divisa in gradi e parti di un grado contenuti nella differenza delle latitudini, darà l'esatta lunghezza di un grado, la differenza delle latitudini essendo l'angolo contenuto tra le

verticali alle estremità dell'arco. Questo facilmente si potrebbe eseguire, se la distanza fosse senza ostacoli, e se fosse sopra ad un stesso livello col mare. Ma per cagione degli ostacoli innumerevoli che sono sulla superficie della terra, è necessario di connettere gli estremi punti dell'arco con una serie di triangoli (N. 126), i lati e gli angoli dei quali sono o misurati o calcolati in modo che la lunghezza dell'arco viene accertata col mezzo di calcoli molto elaborati. In conseguenza delle irregolarità della superficie, ogni triangolo è in un piano differente. Devono perciò essere ridotti col calcolo a quello che sarebbero stati, se si fossero misurati sulla superficie del mare. E siccome la terra può in questo caso essere considerata sferica, i triangoli richiedono una correzione per essere ridotti a triangoli sferici. I geometri che diressero le operazioni trigonometriche, nel misurare in Irlanda 500 piedi di una base per due volte, ritrovarono che la differenza nelle due misure non ammontava all' 800ma parte d'un pollice. Nella generale misurazione della Gran Brettagna, cinque basi lunghe da 5 a 7 miglia furono misurate, é alcune di esse di 400 miglia a parte; eppure quando furono riunite in un tutto per le serie dei triangoli, le lunghezze misurate e quelle calcolate non differirono più di tre pollici: tanta è l'accuratezza con che queste operazioni si eseguiscono, e che esse richiedono.

Gli archi del meridiano sono stati misurati in parecchie latitudini in ambedue gli emisferi, come pure gli archi perpendicolari al meridiano. Da queste misure rilevasi che la lunghezza dei gradi cresce dall'equatore ai poli, quasi in ragione del quadrato del seno della latitudine (N. 127). Per conseguenza la convessità della terra diminuisce dall'equatore ai poli.

Se la terra fosse un'ellissoide di rivoluzione, i meridiani sarebbero ellissi i cui assi minori coinciderebbero coll'asse di rotazione, e tutti i gradi misurati tra il polo e l'equatore darebbero la stessa compressione, combi-

nati due a due: il che nondimeno è lontano dall'essere il caso. Appena qualcuna delle misure dà esattamente gli stessi risultati, principalmente a motivo delle attrazioni locali che fanno deviare il filo a piombo dalla verticale. La vicinanza delle montagne produce questo effetto. Una delle più notabili anomalie di questa specie, sebbene non senza precedenti, ha luogo in alcune località della Italia settentrionale, dove l'azione di qualche materia densa sotterranea fa deviare la linea del filo a piombo sette od otto volte più che non facesse per l'attrazione del Chimborazo negli esperimenti di Bouguer, mentre ei misurava un grado del meridiano all'equatore. In conseguenza di questa locale attrazione i gradi del meridiano in quella parte d'Italia sembrano crescere verso l'equatore per un piccolo spazio, in vece di decrescere, come se la terra fosse turgida ai poli in vece di essere depressa.

Molte altre discrepanze si verificano, ma dalla media delle cinque principali misure di archi nel Perù, nell'Indie, nella Francia, nell'Inghilterra e nella Laponia, Ivory ha dedotto che la figura della terra che più approssimativamente segue questa legge è una ellissoide di rivoluzione il cui raggio equatoriale è di 3962·824 miglia, ed il raggio polare di 3949·585 miglia. La differenza di 13·239 miglia, divisa per il raggio equatoriale, è approssimativamente di $\frac{1}{299}$ (N. 128).[1] Questa frazione viene chiamata la compressione della terra, e non differisce molto da quella data dalle disuguaglianze lunari. Dopochè le quantità precedenti furono determinate, gli archi del meridiano sono stati misurati in varie parti del globo, dei quali i più estesi sono l'arco Russo di 25° 20′ tra il mare glaciale e il Danubio condotto sotto la soprintendenza di Struve, e l'arco Indiano esteso fino al 21° 21′ dal colonnello Everest.

[1] Giovanni Herschel nota che vi sono appunto tante migliaia di piedi in un grado del meridiano nella nostra latitudine nord, quanti vi sono giorni nell'anno, cioè 365,000. L'Osservatorio di Greenwich è al 51° 28′ 40″ latitudine nord.

La compressione dedotta da Bessel dalla somma di dieci archi è di miglia 298 $\frac{3}{4}$, il raggio equatoriale 3962·802, e il polare 3949·554, mentre Airy consegue quasi un identico risultato (3962·824,3949·585, e 298 $\frac{83}{100}$) dalla considerazione di tutti gli archi, misurati fino al 1831, compresi i grand' archi Indiano e Russo. Se noi ritenessimo che la terra fosse una sfera, la lunghezza d' un grado del meridiano sarebbe 69 $\frac{14}{100}$ miglia britanniche. Per questo 360 gradi o l' intera circonferenza equatoriale del globo è di 24,899 miglia inglesi Eratostene, che morì 194 anni prima dell' èra cristiana, fu il primo a dare un valore approssimativo della circonferenza della terra, mediante la misura d' un arco tra Alessandria e Siene.

Vi è un altro metodo di ritrovare la figura della terra, totalmente diverso dal precedente e che solo dipende dall' aumento di gravitazione dall' equatore ai poli. La forza di gravitazione in un luogo è misurata dalla discesa d' un corpo pesante nel primo secondo della sua caduta. E l' intensità della forza centrifuga misurasi dall' allontanamento di un dato punto dalla tangente in un secondo. La forza centrifuga bilanciando l' attrazione della terra, essa è una esatta misura della forza di gravitazione. Se l' attrazione cessasse, un corpo sulla superficie della terra fuggirebbe via per la tangente in virtù della forza centrifuga, invece di piegarsi intorno al cerchio di rotazione. Per questo l' allontanamento del cerchio dalla tangente in un secondo misura la intensità dell' attrazione della terra, ed è eguale al seno dell' arco descritto durante quel tempo, quantità facilmente determinabile per la nota velocità della rotazione terrestre. Quindi è stato ritrovato che all'equatore la forza centrifuga è eguale alla 289ª parte della gravità. Ora è provato dalla analisi che qualunque possa essere la costituzione della terra e dei pianeti, se la intensità della gravitazione all'equatore è presa eguale all' unità,

la somma della compressione dell' ellissoide e l'intero accrescimento della gravitazione dall' equatore al polo è eguale a cinque metà del rapporto fra la forza centrifuga e la gravitazione nell' equatore. Questa quantità rispetto alla terra è $\frac{5}{2}$ di $\frac{1}{289}$ ossia $\frac{1}{115\cdot 2}$. Per conseguenza la compressione della terra è eguale a $\frac{1}{116\cdot 2}$ diminuito dall'intero aumento della gravitazione. Così che la forma della terra sarà nota se l'intero aumento della gravitazione dall' equatore al polo può essere determinato colla esperienza. Questo è stato eseguito con un metodo fondato sopra le seguenti considerazioni: Se la terra fosse una sfera omogenea senza rotazione, la sua attrazione sui corpi alla sua superficie sarebbe in ogni parte la stessa. Se essa fosse ellittica e di densità variabile, la forza di gravità teoreticamente dovrebbe crescere dall'equatore al polo, come 1, più una quantità costante moltiplicata pel quadrato del seno della latitudine (N. 127). Ma per una sferoide in rotazione la forza centrifuga varia secondo le leggi della meccanica, come il quadrato del seno della latitudine, dall' equatore dove è la più grande, al polo dove sparisce. E siccome essa tende a fare che i corpi si allontanino dalla superficie, essa diminuisce la forza di gravità d' una piccola quantità. Quindi per la gravitazione che è la differenza di queste due forze, la caduta dei corpi deve essere accelerata dall' equatore ai poli proporzionalmente al quadrato del seno di latitudine; e il peso dello stesso corpo deve crescere nella stessa ragione. Questo è provato direttamente dalle oscillazioni del pendolo (N. 129), il quale in fatto è un corpo cadente; perlochè, se la caduta dei corpi è accelerata, le oscillazioni saranno più rapide: affinchè, pertanto, queste possano esser compite nel tempo medesimo, la lunghezza del pendolo deve essere alterata. Per mezzo di numerosi ed accurati esperimenti è dimostrato che un pendolo il quale oscilli 86,400 volte in un giorno medio all'equatore, farà lo stesso ad ogni punto della su-

perficie terrestre, se la sua lunghezza sia aumentata progressivamente al polo, come il quadrato del seno della latitudine.

Dalla media di questi esperimenti risulta che l'intero decrescimento della gravitazione dai poli all'equatore è di $0^{s}005^{s}1449$, che sottratto da $\frac{1}{115\cdot 2}$ dimostra che la compressione della sferoide terrestre è circa $\frac{1}{288\cdot 26}$. Questo valore è stato dedotto dal defunto Baily, presidente della Società Astronomica, che ha messo molta attenzione sopra questo soggetto: al tempo stesso si può osservare che due serie d'esperimenti col pendolo non danno il risultato medesimo, probabilmente a motivo delle locali attrazioni. La compressione ottenuta con questo metodo non differisce molto da quella data dalle disuguaglianze lunari, nè da quella data dagli archi nella direzione del meridiano e da quelli perpendicolari a questo. La prossima coincidenza di questi tre valori dedotti da metodi così interamente indipendenti l'uno dall'altro, dimostra che le mutue tendenze dei centri dei corpi celesti l'uno all'altro, e l'attrazione della terra per i corpi alla sua superficie risultano dalla reciproca attrazione di tutte le loro particelle. Un'altra prova può essere aggiunta. La nutazione dell'asse della terra e la precessione degli equinozi (N. 146) sono cagionate dall'azione del sole e della luna sulla materia protuberante all'equatore terrestre. E sebbene queste disuglianze non diano l'assoluto valore della compressione della terra, esse dimostrano che la frazione che la esprime è compresa tra i limiti di $\frac{1}{279}$ ed $\frac{1}{373}$.

Si potrebbe obiettare che l'istessa compressione risulterebbe da ogni metodo di osservazione, se essi si potessero porre ad esecuzione, senza errori. Questo non di meno non è il caso: perocchè dopo la concessione fatta per ogni causa di sbaglio si sono ritrovate differenze tanto nei gradi del meridiano come nella lunghezza del pendolo, da mostrare che la figura della terra è compli-

catissima. Ma esse sono così piccole, quando sieno paragonate co' generali risultati, che possono essere trascurate. La compressione dedotta dalla media generale apparisce non differire molto dal $\frac{1}{300}$; quella data col mezzo della teoria lunare ha il vantaggio di essere indipendente dalle irregolarità della superficie terrestre e dalle locali attrazioni. La regolarità colla quale la variazione osservata nella lunghezza del pendolo segue la legge del quadrato del seno della latitudine, prova che gli strati sono ellittici e simetricamente disposti attorno al centro di gravità della terra; il che somministra una forte presunzione in favore della sua originaria fluidità. È da osservare quanto poca influenza abbia il mare sulla variazione della lunghezza degli archi del meridiano o sulla gravitazione: nè esso influisce molto sulle disuguaglianze lunari, per la sua densità, che è solo circa un quinto della densità media della terra. Imperocchè, se la terra diventasse fluida dopo essere stata denudata dell' oceano, essa prenderebbe la forma d' un ellissoide di rivoluzione, la cui compressione sarebbe $\frac{1}{304 \cdot 8}$, quantità che differisce pochissimo da quella determinata dalla osservazione, e prova non solo che la densità dell' oceano è poco considerevole, ma che la sua media profondità è piccolissima. Vi sono delle cavità profonde nel seno del mare, ma la sua media profondità probabilmente non eccede di molto l' altezza media dei continenti e delle isole sopra il suo livello. Per questo rispetto, immensi tratti di terra possono essere abbandonati o ricoperti dall'oceano, come apparisce realmente essere stato il caso, senza produrre nessun grande cangiamento nella forma della sferoide terrestre. La variazione nella lunghezza del pendolo fu da prima osservata da Richter nel 1672, mentre contemplava i passaggi delle stelle fisse a traverso il meridiano in Caienna, circa cinque gradi al nord dell' Equatore. Egli riconobbe che il suo orologio ritardava in ragione di 2′ 28″ al giorno; il che lo indusse a determinare la lunghezza d' un pendolo a secondi in quella latitudine,

e ripetendo gli esperimenti al suo ritorno in Europa ritrovava il pendolo a seeondi essere a Parigi della dodicesima parte d'un pollice più lungo che a Caienna. La forma e la grandezza della terra essendo determinata, si ha un modello di misura al quale possono essere paragonate le dimensioni del sistema solare.

SEZIONE VII.

Parallasse — Parallasse lunare ritrovata col mezzo della osservazione diretta — Parallasse solare dedotta dal passaggio di Venere — Distanza del sole dalla terra — Parallasse annuale — Distanza delle stelle fisse.

La parallasse di un corpo eeleste è l'angolo sotto il quale il raggio della terra sarebbe veduto se fosse riguardato dal eentro di quel eorpo: essa somministra i mezzi di aceertare le distanze del sole, della luna e dei pianeti (N. 130). Quando la luna è nell'orizzonte all'istante di sorgere o di tramontare, si suppongano delle rette tirate dal suo centro allo spettatore ed al centro della terra: queste formerebbero un triangolo rettangolare col raggio terrestre, che è d'una lunghezza nota, e siccome la parallasse o l'angolo alla luna può essere misurato, tutti gli angoli ed un lato sono dati; donde la distanza della luna dal centro della terra può essere calcolata. La parallasse d'un oggetto può ritrovarsi, se due osservatori sotto lo stesso meridiano, ma ad una grandissima distanza l'uno dall'altro, osservano le distanze zenitali dell'oggetto nel giorno medesimo al momento del suo passaggio sopra il meridiano. Per mezzo di simili osservazioni contemporanee al Capo di Buona Speranza e a Berlino, la media parallasse orizzontale della luna fu ritrovata essere 3459″; quindi la distanza media della luna è circa sessanta volte il massimo raggio della terra, ossia 237,608 mi-

glia approssimativamente.[1] E poichè la parallasse è eguale al raggio della terra diviso per la distanza della luna, essa varia colla distanza della luna, dalla terra sotto l'istesso parallelo di latitudine, e prova la ellitticità dell'orbita lunare. Quando la luna è alla sua media distanza, la parallasse varia coi raggi terrestri, dimostrando così che la terra non è una sfera (N. 131).

Sebbene il metodo descritto sia sufficientemente accurato per ritrovare la parallasse d'un oggetto così vicino come la luna, esso non corrisponderebbe per il sole, che è tanto lontano che il più piccolo errore nell'osservazione condurrebbe ad un falso risultato. Ma questa difficoltà è tolta coi passaggi di Venere. Quando questo pianeta è ne' suoi nodi (N. 132) o presso ad essi di $1\frac{1}{4}$ cioè nel piano o vicino il piano dell'eclittica, Venere è veduta alcune volte passare sopra il sole come una macchia nera. Se potessimo immaginare che il sole e Venere non avessero parallasse, la linea descritta dal pianeta sul disco solare e la durata del passaggio, sarebbero le stesse per tutti gli abitanti della terra. Ma siccome il semidiametro della terra ha una sensibile grandezza quando è riguardato dal centro del sole, la linea descritta dal pianeta nel suo passaggio sopra il disco del sole apparisce esser più vicina al centro solare, o più da questo lontana, secondo la posizione dell'osservatore; così che la durata del passaggio varia co' differenti punti della superficie terrestre nei quali è osservato (N. 133). Questa differenza di tempo essendo interamente effetto della parallasse, somministra i mezzi di calcolarlo dai noti movimenti della terra e di Venere collo stesso metodo come per l'eclissi del sole. Infatti il rapporto delle distanze di Venere e del sole dalla terra al tempo del passaggio sono note per la teoria del loro movimento ellittico. Per conseguenza viene dato il rapporto della parallasse di questi due corpi, essendo

[1] Ovvero, più correttamente, 3422″·325, e 238,793 miglia, ricavate dai più accurati calcoli di Adams.

che è in ragione inversa delle loro distanze; e siccome il passaggio dà la differenza delle parallassi, viene così ottenuta la parallasse del sole. Nel 1769 la parallasse del sole fu determinata per mezzo delle osservazioni di un passaggio di Venere fatte a Wardhus nella Lapponia ed a Thaiti nel mare del sud. L'ultima osservazione fu l'oggetto del primo viaggio di Cook. Il passaggio durava circa sei ore a Thaiti, e la differenza nella durata a queste due stazioni fu di 8 minuti; quindi la parallasse orizzontale del sole fu ritrovata essere di 8″·72. Ma per altre considerazioni è stata ridotta da Encke a 8″·5776, da cui apparisce che la media distanza solare è di circa 95 milioni di miglia. Questo è confermato da una disuguaglianza nel movimento della luna che dipende dalla parallasse solare, e che, paragonata coll'osservazione, dà 8″6 per la parallasse del sole. I passaggi di Venere nel 1874 e 1882 non saranno favorevoli per assicurare la precisione della parallasse solare, e nessun altro passaggio di questo pianeta avrà luogo sino al 21mo secolo: ma in questo intervallo di tempo si può ricorrere alle opposizioni di Marte.

La parallasse di Venere si determina per mezzo dei suoi passaggi: quella di Marte, per osservazione diretta; ed è stata ritrovata essere approssimativamente doppia della solare, quando il pianeta è in opposizione. La distanza di questi due pianeti dalla terra è per questo nota in raggi terrestri; conseguentemente le loro medie distanze dal sole, possono essere calcolate; e siccome i rapporti delle distanze de' pianeti dal sole sono note per la legge di Keplero, dei quadrati dei tempi periodici di due pianeti, che stanno fra loro come i cubi delle loro medie distanze dal sole, le loro distanze assolute in miglia si ritrovano facilmente (N. 134). Questa legge è importantissima, perchè unisce così tutti i corpi del sistema, e perchè si estende tanto ai satelliti come ai pianeti.

Per quanto lontana sembri la terra dal sole, Urano è non meno di 19 volte, e Nettuno di 30 volte più lontano.

Situato sul confine del sistema, il sole deve comparire da Urano non molto più grande di quello che Venere comparisca a noi, e da Nettuno, come una stella di quinta grandezza. La terra non può essere visibile neppure come un oggetto telescopico da un corpo così remoto, come Urano o Nettuno. Nondimeno l' uomo, l' abitante della terra, va al di là delle vaste dimensioni del sistema a cui il suo pianeta appartiene, e prende il diametro dell' orbita di questo, come base d' un triangolo, di cui l' apice si estende fino alle stelle.

Per quanto sublime ne sia l' idea, questo assunto diventa senza effetto, da pochissimi casi all' infuori: perocchè le posizioni apparenti delle stelle fisse non sono sensibilmente cangiati per l' annua rivoluzione della terra. Coll' aiuto derivato dai progressi dell' astronomia moderna e dai più perfetti istrumenti, una sensibile parallasse è stata ritrovata solo in pochissimi di questi lontani soli. L' α del Centauro ha una parallasse d' un secondo di spazio: per questo essa è la stella più vicina che si conosca, e non di meno è più che 200 mila volte più lontana da noi di quello che sia il sole. A tale distanza non solo l' orbita terrestre si riduce ad un punto, ma l' intero sistema solare veduto nel foco del più potente telescopio, può essere ecclissato dalla grossezza d' un filo di ragno. La luce che scorre in ragione di 190,000 miglia in un secondo, metterebbe più di tre anni a percorrere questo spazio. Una delle stelle più vicine può per questa ragione essere stata accesa o estinta più di tre anni prima che noi possiamo essere consapevoli di un tanto evento. Ma questa distanza deve essere piccola paragonata con quella del più remoto dei corpi che sono visibili nei cieli. Le stelle fisse sono indubitatamente luminose per sè stesse come il sole: egli è per questo probabile che non sieno tra loro in maggior vicinanza di quello che il sole è alla più vicina di loro. Nella via lattea e nelle altre nebulose stellari, alcune delle stelle che a

noi sembrano vicine alle altre, possono essere lontane, dietro a quelle, nell'infinita profondità dello spazio: certo si può ragionando supporre siano situate molte migliaia di volte più lontano. La luce per questo richiederebbe migliaia d'anni per arrivare alla terra da queste miriadi di soli, dei quali il nostro non è che il lontano compagno.

SEZIONE VIII.

Le masse dei pianeti, che non hanno satelliti, determinate dalle loro perturbazioni — Masse degli altri ottenute dai moti de' loro satelliti — Masse del sole, della terra, di Giove e del sistema di Giove — Massa della luna — Come si ottengono diametri reali dei pianeti — Grandezza del sole, densità dei corpi celesti — Formazione delle tavole astronomiche — Dati che si richieggono e mezzi per ottenerle.

Le masse dei pianeti, che non hanno satelliti, si conoscono paragonando le disuguaglianze ch'esse producono nei movimenti della terra e degli altri, determinate teoricamente, con le disuguaglianze stesse date dall'osservazione; perchè la causa perturbatrice deve necessariamente esser proporzionata all'effetto che produce. Le masse dei satelliti stessi possono pure paragonarsi con quella del sole per le loro perturbazioni. Così è stato ritrovato col paragone di un gran numero di osservazioni con la teoria di La Place intorno i satelliti di Giove, che la massa del sole non è meno di 65,000,000 di volte più grande che la più piccola di tali lune. Ma siccome le quantità di materia in due pianeti primari sono direttamente come i cubi delle medie distanze, nelle quali si rivolgono i loro satelliti, ed in ragione inversa dei quadrati dei loro tempi periodici (N. 135), la massa solare e dei pianeti che hanno satelliti, può essere paragonata colla massa della terra. In questo modo si è calcolato che la massa del sole è 354,936 volte quella terrestre;

donde le grandi perturbazioni della luna ed il rapido movimento del perigeo e dei nodi della sua orbita (N. 136). Giove ancora, il più grande dei pianeti, è stato di recente ritrovato da Airy essere 1047·871 volte minore del sole: e difatti la massa di tutto il sistema di Giove non è più che la 1054·4ª parte di quella solare. Così che la massa dei satelliti porta una debolissima proporzione a quella del loro primario.

La massa della luna si determina partendo da diverse sorgenti. Dalla sua azione sull' equatore terrestre che è causa della nutazione nell'asse di rotazione; dalla sua parallasse orizzontale; da una disuguaglianza ch'essa produce nella longitudine del sole; e dalla sua azione sulle maree. Le prime tre quantità computate per mezzo della teoria e paragonate con i rispettivi valori osservati, danno la massa lunare relativamente eguale a $\frac{1}{71}$ $\frac{1}{74,2}$, e $\frac{1}{69\cdot2}$ parti di quella terrestre, le quali non differiscono molto tra di loro. Il dottore Brinkley ha ritrovato che è $\frac{1}{80}$ secondo la costante della nutazione lunare; ma dall'azione della luna nel sollevare le maree, la sua massa apparisce circa $\frac{1}{75}$ parte di quella della terra; valore che non può differire molto dal vero.

I diametri apparenti del sole, della luna e dei pianeti, sono determinati colla misurazione; per questo il diametro reale d'un pianeta è al diametro reale della terra, ossia 7926 miglia, come il diametro apparente di un pianeta al diametro apparente della terra veduta dal pianeta, cioè a due volte la parallasse del pianeta. Secondo Bessel il diametro apparente medio del sole è 1923″·64 e con la parallasse solare 8″·5776 si ritroverà che il diametro solare è circa 886,877 miglia. Per tanto, se il centro del sole coincidesse col centro della terra, il suo volume non solo inchiuderebbe l'orbita della luna, ma si estenderebbe approssimativamente altrettanto; perchè la media distanza della luna dalla terra è circa 60 volte il raggio equatoriale della terra, ossia 238,793 miglia, così

che due volte la distanza della luna è 477,586 miglia, il che differisce poco dal raggio solare: il raggio equatoriale del sole è probabilmente non molto minore dell'asse maggiore dell'orbita lunare. Il diametro della luna è solo 2160 miglia; ed il diametro di Giove di 88,200 miglia è molto meno grande del solare; quello di Pallade non eccede 79 miglia, così che un abitante di questo pianeta in una delle nostre carrozze a vapore girerebbe intorno il suo mondo in poche ore. I diametri di Lutezia e Atalanta sono solamente 8 e 4 miglia rispettivamente, ma il complesso di tutti i 55 pianeti telescopici è tanto piccolo che la loro massa unita non è probabilmente maggiore della quinta o sesta parte di quella della luna.

Le densità dei corpi sono proporzionali alle loro masse divise pei loro volumi. Quindi se si suppone che il sole ed i pianeti sieno delle sfere, i loro volumi saranno come i cubi dei loro diametri. Ora i diametri apparenti del sole e della terra alla loro media distanza sono 1923″·6 e 17″·1552, e la massa della terra è la 354,936^{ma} parte di quella del sole, presa come unità. Segue da questo che la terra è quattro volte così densa che il sole. Ma questo è tanto grande che la sua forza attrattiva obbligherebbe i corpi a cadere con una velocità di circa 334·65 piedi in un secondo. Conseguentemente se esso fosse abitabile da esseri umani, sarebbero questi inabili a muoversi, poichè il loro peso sarebbe trenta volte tanto grande quanto è sul globo. Un uomo di una giusta corporatura peserebbe circa due tonnellate alla superficie solare; mentre alla superficie di alcuni dei nuovi pianeti sarebbe così leggero che sarebbe impossibile che stesse fermo in piedi, poichè peserebbe solo poche libbre. La densità media della terra è stata determinata col seguente metodo. Poichè un paragone dell'azione di due pianeti sopra un terzo dà la ragione delle masse di essi, egli è chiaro che se noi possiamo paragonare l'effetto di tutta la terra con l'effetto d'una sua parte, si può istituire un confronto

fra la massa di tutta la terra e la massa di quella parte di essa. Ora una palla di piombo fu pesata di contro la terra paragonando gli effetti di ciascuna sopra un pendolo; la vicinanza della massa più piccola in questa operazione producendo un sensibile effetto paragonato con quello della maggiore; perocchè per le leggi dell'attrazione tutta la terra deve essere considerata come raccolta nel suo centro. Con questo metodo è stato ritrovato che la densità media della terra è 5·660 volte maggiore di quella dell'acqua alla temperatura di 62° del termometro di Fahrenheit. Il defunto Baily, la cui accuratezza come filosofo esperimentatore è nota, si occupò indefessamente quasi per quattro anni nel completare questo importantissimo soggetto. Per accertare la densità media della terra sempre più perfettamente, Airy fece una serie di esperimenti paragonando le simultanee oscillazioni di due pendoli, uno al fondo della miniera di carbone fossile ad Harton, alla profondità di 1260 piedi nel Northumberland, e l'altro alla superficie della terra immediatamente sopra di quella. Le oscillazioni dei pendoli furono confrontate con un orologio astronomico a ciascuna stazione, ed il tempo era all'istante trasmesso dall'una all'altra per mezzo di un filo telegrafico. Le oscillazioni furono osservate per più di 100 ore continuamente, allorchè si trovò che il pendolo più basso faceva due oscillazioni e mezzo in 24 ore di più che il superiore. Questo esperimento fu ripetuto per la stessa lunghezza di tempo col risultato istesso: ma in questa occasione il pendolo superiore fu messo al fondo della miniera e l'inferiore portato alla superficie. Dalla differenza tra le oscillazioni alle due stazioni apparisce, che la gravitazione al fondo della miniera supera quella alla superficie di $\frac{1}{19,700}$ parti, e che la densità media della terra è 6·565, la quale è maggiore che quella ottenuta da Baily di ·89. Mentre il colonnello James era impiegato nella misura trigonometrica di Scozia, determinò che la densità media della

terra è di 5·316 per mezzo di una deviazione del filo a piombo ammontante a 2″, prodotta dall'attrazione della montagna la Sedia di Arthur situata all'oriente di Edimburgo: questo risultato si avvicina più approssimativamente colla densità ritrovata da Baily, che con quella dedotta dagli esperimenti di Airy. Tutti i pianeti ed i satelliti appariscono avere minore densità della terra. I movimenti dei satelliti di Giove dimostrano che la sua densità cresce verso il suo centro. Se la sua massa fosse omogenea, i suoi assi equatoriale e polare sarebbero nella proporzione di 41 a 36, mentre si osserva che sono solamente come 41 a 38. Le singolari irregolarità nella forma di Saturno e la grande compressione di Marte provano che la struttura interna di questi due pianeti è lontanissima dall'uniformità.

Prima di entrare nella teoria della rotazione, non sarà estraneo all'argomento il dare una idea dei metodi di calcolare le posizioni dei pianeti e di formare le tavole astronomiche. L'astronomia ora è divisa in tre distinte parti, della teoria, dell'osservazione e del calcolo. Poichè il problema dei tre corpi può solo essere sciolto per approssimazione, l'astronomo analitico determina la posizione di un pianeta nello spazio per una serie di correzioni. Il primo a ritrovarsi è la posizione del pianeta nella sua orbita circolare, quindi l'addizione o la sottrazione dell'equazione del centro (N. 48) alla o dalla sua posizione media dà la sua posizione nella ellisse. Questa di nuovo viene corretta per l'applicazione delle principali disuguaglianze periodiche. Ma siccome queste sono determinate per qualche particolare posizione dei tre corpi, esse vogliono esser corrette d'accordo con altre relative posizioni. Questo processo è continuato sino a che le correzioni diventano minori degli errori dell'osservazione, quando, come avviene d'ordinario, non vi è bisogno di portare l'approssimazione più lungi. La vera latitudine e la distanza del pianeta dal sole si ot-

tengono con metodi simili a quelli impiegati per la longitudine.

Siccome la terra gira uniformemente attorno al proprio asse in 24 ore in ragione di 15° per ora, il tempo diventa una misura di movimento angolare, ed il principale elemento nell'astronomia, il cui oggetto principale è di determinare lo stato esatto del cielo ed i successivi cangiamenti a cui va soggetto per tutte le età, passate, presenti, e da venire. Ora la longitudine, la latitudine e la distanza d'un pianeta dal sole sono date in termini del tempo, per mezzo di formole analitiche generali. Queste formole daranno conseguentemente il luogo esatto del corpo nei cieli per qualche tempo prese ad arbitrio, purchè possano essere ridotte in numeri. Ma prima che il calcolatore cominci la sua impresa, l'osservatore deve somministrare i dati necessari che sono, come è chiaro, le forme delle orbite e le loro posizioni riguardo al piano dell'eclittica (N. 57). Egli è pertanto necessario di determinare coll'osservazione per ogni pianeta, la lunghezza dell'asse maggiore della sua orbita, l'eccentricità, l'inclinazione dell'orbita al piano dell'eclittica, le longitudini del suo perielio e del nodo ascendente ad un tempo dato, il tempo periodico del pianeta e la sua longitudine ad un istante preso a piacere come un'origine dalla quale tutte le longitudini susseguenti ed antecedenti di esso sono calcolate. Ognuna di queste quantità è determinata da quella posizione del pianeta sulla quale essa ha maggiore influenza. Per esempio la somma delle distanze massima e minima del pianeta dal sole è eguale all'asse maggiore dell'orbita, e la loro differenza è eguale a due volte la eccentricità. La longitudine del pianeta quando è nella sua distanza minima dal sole è la stessa che la longitudine del perielio: la massima latitudine del pianeta è eguale all'inclinazione dell'orbita: la longitudine del pianeta quando è nel piano dell'eclittica nel passare verso il Nord, è la longitudine del nodo

ascendente, e il tempo periodico è l'intervallo fra due passaggi consecutivi del pianeta pel nodo istesso, fatta una piccola correzione per l'avanzamento del nodo durante la rivoluzione del pianeta (N. 137). Non ostante la eccellenza degli istrumenti e l'accuratezza degli osservatori moderni, gli errori inevitabili di osservazione posson solo essere compensati ritrovando il valore d'ogni elemento dalla media d'un migliaio ed anche di molte migliaia di osservazioni. Perocchè siccome è probabile che gli errori non siano tutti di un genere solo, ma che alcuni siano in eccesso e altri in difetto, essi si compenseranno l'un l'altro quando si combinino.

Se non che i valori degli elementi determinati separatamente posson solo riguardarsi come approssimativi; perchè sono così connessi, che lo studio d'uno indipendentemente dagli altri indurrà errori in essi. La eccentricità dipende dalla longitudine del perielio, il moto medio dipende dall'asse maggiore, la longitudine del nodo dall'inclinazione dell'orbita e viceversa. Conseguentemente la posizione d'un pianeta calcolata con dati approssimativi, differirà dalla sua posizione data dall'osservazione. Allora la difficoltà sta nell'accertare quali elementi sono più in difetto; perchè la differenza in quistione è l'errore di tutti: dessa vien rimossa ritrovando gli errori di qualche migliaia di osservazioni combinandole in modo da correggere gli elementi simultaneamente e facendo, della somma dei quadrati degli errori, un minimo rispetto ad ogni elemento (N. 138). Il metodo di eseguire questo dipende dalla teoria delle probabilità; soggetto fertile in risultati importantissimi nelle varie parti delle scienze e della vita civile, e quasi indispensabile nella determinazione dei dati astronomici. Una serie d'osservazioni continuate per alcuni anni darà i valori approssimativi delle disuguaglianze secolari e periodiche che devono essere corretti di tempo in tempo, sino a che la teoria e l'osservazione vadano d'accordo. E questi di nuovo daranno

i valori delle masse dei corpi che formano il sistema solare; i quali valori sono dati importanti nel calcolo dei loro movimenti. Le disuguaglianze periodiche desunte da un gran numero di osservazioni sono impiegate per la determinazione dei valori delle masse, sino a che le secolari disuguaglianze saranno perfettamente note, poichè queste le daranno allora con tutta la necessaria precisione. Quando tutte queste quantità sono determinate in numeri, la longitudine, la latitudine, e la distanza del pianeta dal sole si calcolano per istabiliti intervalli, e si rappresentano in tavole, disposte secondo il tempo calcolato da un'epoca data, così che la posizione del corpo può essere determinata per mezzo di esse per la sola loro inspezione in un qualsisia istante per forse un migliaio d'anni prima e dopo quella epoca. Con questo tedioso processo sono state calcolate delle tavole per tutti i grandi pianeti e parecchi dei piccoli, oltre la luna ed i satelliti di Giove. Nello stato presente dell'astronomia, le masse e gli elementi delle orbite sono perfettamente noti, così che le tavole richieggono solamente di essere corrette di tempo in tempo via via che le osservazioni diventano più accurate. Quelle che contengono i movimenti di Giove, di Saturno e di Urano sono già state costrutte due volte negli ultimi trenta anni, e le tavole di Giove e Saturno concordano quasi perfettamente coll'osservazione moderna.

La seguente predizione si ritroverà nella sesta edizione di questo libro pubblicata nel 1842. « Quelle di Urano, non di meno sono difettive, probabilmente perchè la scoperta di questo pianeta fatta nel 1781, è troppo recente perchè si possa ammettere molta precisione nella determinazione de' suoi movimenti, o perchè è possibile che esso sia soggetto alle perturbazioni di qualche pianeta non veduto, il quale giri attorno il sole al di là dell'attuale limite del nostro sistema. Se dopo un lasso di anni le tavole formate da una combinazione di numerose osservazioni fossero ancora inadeguate per rappresentare i

movimenti di Urano, le discrepanze possono rivelare la esistenza, anzi, anche la massa e l'orbita di un corpo situato per sempre al di là della sfera della vista. » [1]

Questa predizione si avverò dopo che la sesta edizione di questo libro fu pubblicata. Non solo l'esistenza di Nettuno che gira alla distanza di tremila milioni di miglia dal sole è stata scoperta per mezzo della sua azione perturbatrice sopra Urano, ma la sua massa, la forma e la posizione dell'orbita sua nello spazio ed il suo tempo periodico sono stati determinati prima che il pianeta sia stato veduto, ed il pianeta stesso fu scoperto nel vero punto del cielo che gli era stato assegnato. Veniva indicato da parecchi anni che la perturbazione di Urano era cresciuta in un modo inesplicabile (N. 139). Dopo che l'azione perturbatrice di tutti i pianeti conosciuti era stata determinata, si ritrovava che tra gli anni 1833 e 1837 la distanza osservata e quella calcolata di Urano dal sole differiva di 24,000 miglia, il che è circa la distanza media della luna dalla terra; mentre nel 1841 l'errore nella geocentrica longitudine del pianeta ammontava a 96″. Queste differenze furono attribuite perciò all'attrazione di qualche pianeta invisibile ed incognito, conseguentemente esse davano origine ad un caso del tutto senza precedenti nella storia dell'astronomia. Altre volte bisognò determinare l'azione perturbatrice d'un pianeta noto, sopra un altro. Mentre ora dovevasi anzi risolvere il problema inverso, nel quale era richiesto di ritrovare la posizione d'un corpo incognito nei cieli, a un dato tempo, insieme con la sua massa e la forma e la posizione della sua orbita, dalla perturbazione che esso produceva sopra i movimenti d'un altro. La difficoltà era grandissima, perchè tutti gli elementi dell'orbita di Urano erano erronei per l'azione di Nettuno, e quelli dell'orbita di Nettuno erano sconosciuti. In questo dilemma era necessario formare qualche ipotesi rispetto all'in-

[1] Nettuno fu scoperto nel 1846.

cognito pianeta: fu per questo supposto, secondo una legge empirica osservata dal barone Bode sopra le medie distanze dei pianeti, che questo corpo incognito facesse la sua rivoluzione a due volte la distanza di Urano dal sole. Infatti il tempo periodico di Urano è circa 84 anni; e siccome le discrepanze ne' suoi movimenti crescono lentamente e regolarmente, era evidente che si richiedeva un pianeta con un tempo periodico molto più lungo per produrle: di più era evidente che il novello pianeta dovea essere esterno ad Urano, altrimenti avrebbe disturbato i movimenti di Saturno.

Un'altra circostanza tendeva a diminuire la difficoltà; la latitudine di Urano non era molto disturbata, per questo fu concluso che l'inclinazione dell'orbita del corpo incognito doveva essere piccolissima; e siccome quella dell'orbita d'Urano è solo 46′28″·4, si suppose che i due pianeti si muovessero nel piano dell'eclittica, e così gli elementi dell'orbita dell'incognito pianeta erano ridotti da 6 a 4. Avendo così ritenuto che l'incognito corpo si rivolgesse secondo un cerchio nel piano dell'eclittica, l'espressione analitica della sua azione sui movimenti di Urano, quando si considerò in numerosi punti della sua orbita, fu paragonata colla longitudine di Urano osservata per una regolare serie di anni, per mezzo di che gli elementi difettosi dell'orbita d'Urano furono eliminati o tolti via e vi rimaneva solamente una relazione tra la massa del nuovo pianeta e tre degli elementi della sua orbita, e quindi fu necessario di assumere tale valore per due di essi che andasse d'accordo col resto. Questo fu eseguito tanto abilmente, che le perturbazioni di Urano furono perfettamente conformi ai movimenti di Nettuno che si muove nell'orbita così ritrovata, e la posizione del novello pianeta esattamente si accordò con la osservazione. In seguito la sua orbita e i suoi movimenti sono stati determinati più accuratamente.

L'onore di questo maraviglioso sforzo di genio è stato

diviso da Adams e Le Verrier, i quali indipendentemente l' uno dall' altro sono arrivati a questi meravigliosi resultati. Adams ha determinato la massa ed il diametro apparente di Nettuno con tutte le circostanze del suo movimento otto mesi prima che Le Verrier avesse terminato i suoi risultati, ed ha indicato ancora l' esatto luogo dove il pianeta si sarebbe ritrovato; ma gli astronomi inglesi trascurarono di ricercarlo sino a che Le Verrier pubblicò le sue investigazioni, ed indicava il posto del pianeta al Dottor Galle in Berlino, che lo ritrovò la stessa prima notte che lo cercava, ed allora fu evidente che sarebbe stato veduto nel luogo che Adams gli aveva assegnato otto mesi prima, se si fosse cercato. Tanto d' appresso convenivano fra loro i risultati di questi due matematici.

Nettuno ha un diametro di 39,793 miglia; per conseguenza è circa 200 volte più grande che la terra, e può esser veduto con telescopio di forza moderata. Il suo moto è retrogrado al presente e sei volte più lento che quello della terra. A tanta distanza dal sole esso può avere $\frac{1}{1500}$ parte della luce e del calore che riceve la terra: ma avendo un satellite, la pochezza della luce può venire supplita in qualche maniera. La predizione ora può essere trasportata da Urano a Nettuno, le cui perturbazioni rivelano l' esistenza d' un pianeta anche situato più lontano, il quale per sempre può rimanere al di là dei limiti della visione telescopica: non di meno la sua massa, la forma, la posizione della sua orbita e tutte le circostanze del suo moto possono diventare note, ed i limiti del sistema solare possono essere estesi centinaia di milioni di miglia ancora.

La media distanza di Nettuno dal sole è stata in seguito provata essere di 2893 milioni di miglia ed il periodo della sua rivoluzione 166 anni, così che la legge di Bode, dell' intervallo tra le orbite di due pianeti che è due volte così grande che l' inferiore intervallo e metà del superiore, erra nel caso di Nettuno, sebbene fosse vantaggioso alla

prima approssimazione de' suoi movimenti; e quantunque dopo il tempo di Bode abbia condotto alla scoperta di cinquantacinque pianeti telescopici, i quali si rivolgono fra le orbite di Marte e di Giove, alcuni per caso, altri per una sistematica ricerca, nella credenza che questi piccoli pianeti sieno frammenti d' un corpo maggiore che sia esploso, pel motivo che le loro distanze dal sole sono approssimativamente le stesse: le linee dei nodi di alcune delle loro orbite terminano negli stessi punti del cielo, e le inclinazioni delle orbite sono tali da potere essere derivate dalle mutue perturbazioni al tempo dell'esplosione, e mentre essi erano ancora vicini abbastanza perchè le loro forme influissero sui loro movimenti. Le orbite degli asteroidi recentissimamente scoperti dimostrano che questa ipotesi è insostenibile.

Le tavole di Marte, di Venere ed anche del sole sono state di molto migliorate, e continuano ad occupare l'attenzione del regio astronomo Airy e di altri eminenti astronomi. Noi siamo principalmente debitori agli astronomi germanici per le tavole dei quattro più vecchi pianeti telescopici Vesta, Giunone, Cerere e Pallade; gli altri sono stati scoperti soltanto dopo l' anno 1845.

La determinazione dell' orbita di un pianeta quando è perturbato da tutti gli altri, problema che ha occupato l' ingegno de' più grandi astronomi da Newton al giorno d' oggi, fu solo successivamente compito a riguardo dei più antichi pianeti che fanno la loro rivoluzione in orbite quasi circolari ma poco inclinate al piano dell' eclittica. Quando l' eccentricità e l' inclinazione delle orbite sono grandi, la loro analisi è difettosa, perchè la serie che esprime le coordinate dei corpi diventa estremamente complicata e non converge quando viene applicata alle comete ed ai pianeti telescopici. Questa difficoltà è stata superata da Giovanni Lubbock e da altri matematici che ebbero l'onore di avere completata la teoria del movimento planetario, che diventa ogni dì più importante per

i nuovi pianeti che sonosi scoperti, ed ancora riguardo delle comete, molte delle quali ritornano al sole in intervalli regolari, e dalle cui perturbazioni le masse dei pianeti saranno più accuratamente determinate, e l'influenza ritardatrice del mezzo etereo meglio conosciuta.

SEZIONE IX.

Rotazione del sole e dei pianeti — Anelli di Saturno — Periodi della rotazione della luna e degli altri satelliti, eguali ai periodi delle loro rivoluzioni — Forma della sferoide lunare — Librazione, aspetto e costituzione della luna — Rotazione dei Satelliti di Giove.

La forma sferoidale o compressa ai poli di parecchi pianeti indica il movimento loro di rotazione. Questo è stato confermato in più casi col trovare delle macchie sulla loro superficie, per le quali i loro poli e i tempi di rotazione sono stati determinati. La rotazione di Mercurio non è conosciuta a motivo della sua prossimità al sole: quella dei nuovi pianeti non è stata ancora accertata. Il sole si rivolge in 25 giorni e 10 ore, intorno ad un asse che è diretto verso un punto a mezza strada tra la stella polare e α della Lira, essendo il piano di rotazione inclinato di 7°30′, od un poco più che sette gradi al piano dell'eclittica; si può per questo concludere che la massa del sole è una sferoide appianata ai poli. Per la rotazione del sole evvi ogni ragione di credere che desso ha un movimento progressivo nello spazio; circostanza che è confermata dall'osservazione. Ma in conseguenza della reazione dei pianeti, il sole descrive una piccola orbita irregolare attorno il centro di gravità del sistema, non deviando mai dalla sua posizione più di due volte il proprio diametro, od un poco più che sette volte la distanza della luna dalla terra. Il sole e tutti i suoi dipendenti rotano dall'occidente all'oriente intorno ad assi che rimangono prossimamente

paralleli a sè stessi (N. 140) in ogni punto delle loro orbite, e con velocità angolari che sono sensibilmente uniformi (N. 141). Sebbene l'uniformità nella direzione della loro rotazione sia una circostanza di cui sino adesso non si ha ragione nell'economia della natura, non di meno, atteso lo scopo e l'attitudine d'ogni altra parte alla perfezione del tutto, una coincidenza tanto notabile non può essere accidentale. E siccome le rivoluzioni dei pianeti e dei satelliti sono pure dall'occidente all'oriente, è manifesto che ambedue devono avere origine dalla causa primitiva che determinò i movimenti planetari.[1] Infatti La Place ha calcolato la probabilità essere come quattro milioni ad uno, che tutti i movimenti dei pianeti e di rotazione e di rivoluzione siano stati ad una volta impartiti secondo una causa comune originale, ma della quale noi non conosciamo nè la natura nè l'epoca.

I pianeti più grandi rotano in periodi più certi che i pianeti più piccoli e la terra. La loro compressione è conseguentemente maggiore, e l'azione del sole e dei rispettivi satelliti cagiona una nutazione negli assi ed una precessione negli equinozii (N. 147) simile a quella che succede nella sferoide terrestre per l'attrazione solare e lunare sulla prominente materia equatoriale. Giove gira in meno di dieci ore attorno un asse che è ad angoli retti con certe striscie o fascie nere che traversano sempre il suo equatore (V. Fig. I). Questa rapida rotazione produce una grandissima compressione nella sua forma. L'asse equatoriale eccede il polare di 6000 miglia, mentre la differenza negli assi della terra è solo circa 26 $\frac{1}{4}$. È una conseguenza evidente della legge di Keplero dei quadrati dei tempi periodici dei pianeti che sono come i cubi dell'asse maggiore delle loro orbite, che i corpi celesti si muovono più lenti, quanto più lontani sono dal sole. Paragonando i periodi delle rivoluzioni di Giove e di Saturno ai tempi

[1] I satelliti dei due grandi pianeti posti nel più lontano dominio del sole formano una singolare eccezione a questa legge.

della loro rotazione, apparisce che un anno di Giove contiene prossimamente dieci mila de' suoi giorni e che quello di Saturno circa trenta mila giorni saturnini.

L'apparenza di Saturno non ha nulla di simile nel sistema del mondo. Esso è una sferoide quasi mille volte più ampia che la terra, circondata da un anello anche più luminoso di lui stesso, il quale sempre rimane sospeso nel piano del suo equatore: e riguardato con un buonissimo telescopio è stato ritrovato consistere di due anelli concentrici divisi da una fascia nera. L'anello esterno, veduto per il grande equatoriale di Lassel, ch' egli portò a Malta per questo scopo, ha una fascia listata di scuro a traverso il centro, ed è molto meno splendido dell' anello interno; una metà del quale è estremamente brillante, mentre la metà interna è adombrata per degli anelli, come i gradini in un anfiteatro. Lassel fece la importante scoperta d' un anello trasparente oscuro, il cui lembo coincide col lembo interno dell' anello interno, e che occupa circa metà dello spazio tra lui e Saturno. Egli paragonavalo ad una fascia di crespo di colore oscuro tirata a traverso una porzione del disco del pianeta, e la parte projettata sopra l'azzurro del cielo è pure trasparente. Nel tempo che queste osservazioni erano fatte a Malta, il capitano Jacob scoperse l'anello trasparente a Madras. Si congettura sia un fluido: gli anelli luminosi pure non possono essere densissimi, poichè la densità di Saturno istessa si sa ch' è minore della ottava parte di quella della terra. Un passaggio dell' anello a traverso una stella può rivelare qualche cosa spettante a questo maraviglioso soggetto. Il globo di Saturno è rigato di liste di diversi colori. Al tempo di queste osservazioni la parte sopra l'anello era di un bianco brillante: al suo equatore vi era una cintura rosastra, divisa in due, sopra la quale vi erano delle strisce di un verde turchiniccio alternativamente oscuro e luminoso, mentre al polo vi era uno spazio circolare d' un pallido colore (V. Fig. II). La di-

stanza media della parte interna, di questo doppio anello dalla superficie del pianeta è circa 22,000 miglia, cioè non meno di 33,360 miglia in larghezza ma secondo le valutazioni di Herschel la sua grossezza non eccede di molto 100 miglia, così che apparisce simile ad un piano. Per le leggi della meccanica è impossibile che questo corpo possa ritenere la sua posizione in virtù della sola aderenza delle sue particelle. Deve necessariamente girare con una velocità tale che genererà una forza centrifuga sufficiente a bilanciare l'attrazione di Saturno. L'osservazione conferma la verità di questi principii, dimostrando che gli anelli rotano dall'occidente all'oriente attorno al pianeta in dieci ore e mezzo, il che è quasi il tempo che un satellite metterebbe a girare attorno a Saturno alla stessa distanza. Il piano degli anelli è inclinato sull'eclittica con un angolo di 28° 10′ 44″· 5, in conseguenza di questa obliquità di posizione, compariscono sempre ellittici a noi, ma con una eccentricità così variabile, da essere anche alle volte simili ad una linea retta tirata attraverso il pianeta. Nel principio d'ottobre 1832, il piano degli anelli passava per il centro della terra: in questa posizione essi erano solo visibili con istrumenti veramente perfetti, ed apparivano simili ad una linea sottile traverso al disco di Saturno. Circa la metà di dicembre dell'anno stesso gli anelli divennero invisibili cogli strumenti ordinari, a motivo del loro piano che passava attraverso il sole. Alla fine d'aprile 1833 gli anelli scomparivano una seconda volta e ricomparivano nel giugno di quell'anno. Fenomeni somiglianti occorreranno ogni volta che Saturno ha la stessa longitudine con ambedue i nodi dei suoi anelli. Ogni lato di essi ha alternativamente quindici anni di sole, e quindici anni di tenebre.

Una linea oscura è stata veduta nell'anello esteriore, che si suppone indicare una suddivisione che ultime osservazioni provano esser vero. Oltre i tre anelli luminosi è stato scoperto un anello oscuro più vicino alla superficie

del pianeta. Questo anello è quasi coincidente col lembo interiore degli anelli luminosi, e occupa circa la metà dello spazio tra loro e Saturno. È trasparente in parte quando è proiettato sul cielo: ma meno dove incrocia il pianeta, che per altro è distintamente veduto attraverso di lui, talmente che l'anello è stato paragonato ad un velo disteso sopra una parte del disco.

Egli è un risultato singolare della teoria che gli anelli non potrebbero mantenere la loro stabilità di rotazione se fossero in ogni parte di uniforme grossezza; perchè la più piccola perturbazione distruggerebbe l'equilibrio, che diventerebbe più e più disordinato fino a che all'ultimo precipiterebbero sulla superficie del pianeta. Gli anelli di Saturno devono per questo essere solidi, irregolari, di larghezza disuguale nelle differenti parti della loro circonferenza, così che i loro centri di gravità non coincidano co' centri delle loro figure. Il professor Struve ha scoperto ancora che il centro degli anelli non è concentrico con quello del pianeta. L'intervallo tra l'orlo esterno del globo di Saturno e l'orlo esteriore degli anelli su d'un lato è di 11″·272, e sull'altro di 11″·390, conseguentemente vi è una eccentricità del globo rispetto agli anelli di 0″·215. Se gli anelli obbedissero a forze differenti, essi non rimarrebbero in uno stesso piano: ma l'attrazione potente di Saturno sempre ritiene ed essi ed i satelliti nel piano del suo equatore. Gli anelli per la loro mutua azione e quella del sole e dei satelliti devono oscillare attorno il centro di Saturno e produrre fenomeni di luce e di ombra i cui periodi s'estendono a molti anni. Secondo Bessel la massa dell'anello di Saturno è eguale alla $\frac{1}{118}$ parte di quella del pianeta.

I periodi di rotazione della luna e degli altri satelliti sono eguali ai tempi delle loro rivoluzioni; conseguentemente questi corpi volgono sempre la stessa faccia ai loro primari. Ma siccome il movimento medio della luna va soggetto ad una disuguaglianza secolare che all'ul-

timo ammonterà a molte circonferenze (N. 108), se la rotazione della luna fosse perfettamente uniforme e non sottoposta alle stesse disuguaglianze, essa cesserebbe di controbilanciare esattamente il movimento di rivoluzione, e la luna nel corso dei secoli scoprirebbe successivamente e gradatamente ogni punto della sua superficie alla terra. Ma la teoria dimostra che questo non può mai accadere, perchè la rotazione lunare, sebbene non partecipi delle disuguaglianze periodiche della sua rivoluzione, è sottoposta alle stesse secolari variazioni, così che i suoi movimenti di rotazione e di rivoluzione attorno la terra si bilanceranno sempre l'un l'altro e rimarranno eguali. Questa circostanza nasce dalla forma della sferoide lunare che ha tre assi principali di differenti lunghezze ad angoli retti l'uno sugli altri.

La luna è appianata ai suoi poli per la sua forza centrifuga, perciò il suo asse polare è il minore; gli altri due sono nel piano del suo equatore, ma quello diretto verso la terra e il più grande (N. 142). L'attrazione della terra, come se portasse fuori quella parte dell'equatore della luna, costantemente porta l'asse massimo e conseguentemente l'emisfero istesso verso di noi, il che fa che la sua rotazione partecipi nelle variazioni secolari del movimento medio di rivoluzione. Anche se le velocità angolari di rotazione e di rivoluzione non fossero state esattamente bilanciate al principio del movimento lunare, l'attrazione della terra avrebbe richiamato l'asse massimo nella direzione della linea che unisce i centri della luna e della terra; così che esso avrebbe vibrato sui due lati di questa linea nella stessa maniera che un pendolo oscilla ai due lati della verticale per l'influenza della gravitazione. Nessuna librazione simile è stata osservata; e siccome la più piccola perturbazione la farebbe evidente, egli è chiaro che se la luna fosse mai stata toccata da una cometa, la massa di questa ultima deve essere stata piccolissima. Se la cometa fosse stata solo

la centomillesima parte della massa terrestre, avrebbe reso sensibile la librazione. Secondo l' analisi, una librazione simile esiste nei movimenti dei satelliti di Giove, che però rimane impercettibile all' osservazione, eppure la cometa del 1770 passò due volte nel mezzo di essi.

La luna, vero è, va soggetta alle librazioni dipendenti dalla posizione dello spettatore. Nel suo levare, parte dell' orlo occidentale del disco della luna è visibile, ma è invisibile al tramontare suo, ed il contrario accade rispetto al suo margine orientale. Vi sono ancora delle librazioni che derivano dalle posizioni della terra e della luna nell' orbite respettive; ma siccome sono queste solo ottiche apparenze, un emisfero sarà eternamente nascosto alla terra. Per la stessa ragione la terra, che deve essere un oggetto cotanto splendido ad un emisfero lunare, sarà sempre nascosta all'altro. Rispetto a tali circostanze l' emisfero più remoto della luna ha il suo dì lungo un 15 giorni dei nostri, ed una notte della stessa durata, neppure illuminata da una luna, mentre il lato favorito è illuminato dalla riflessione della terra durante la sua lunga notte. Un pianeta che esibisce una superficie tredici volte più ampia di quella della luna, con tutte le varietà delle nubi, della terra, delle acque, che vengono successivamente in vista, deve essere un oggetto magnifico al viaggiatore lunare in un viaggio ai suoi antipodi. La grande altezza delle montagne lunari probabilmente ha molta influenza sui fenomeni del suo movimento, tanto più che è piccola la compressione, e la massa sua considerabile. Nella curva che passa per i poli e per quel diametro lunare che sempre è diretto alla terra, la natura ha somministrato un meridiano permanente, al quale le differenti macchie sulla sua superficie sono state riportate e le loro posizioni sono determinate con tanta accuratezza, quanto quella di molti dei luoghi più importanti sulla superficie terrestre. Secondo le osservazioni del professor Secchi a Roma, sono le montagne

della luna per la massima parte vulcaniche e di tre specie. Le prime e le più vecchie hanno i loro contorni rosi così, che compariscono come profondi pozzi; le seconde, che sono d'una classe intermedia, hanno contorni elevati e per la maggior parte inalterati, col fondo attorno innalzato a prodigiosa estensione in ragione del taglio del vulcano, e generalmente con una isolata roccia nel centro del cratere. La terza, e più recente classe, è formata di piccolissime montagne, e sembrano essere l'ultimo sforzo della forza vulcanica spirante, che probabilmente è ora estinta.

La distanza e la piccolezza dei satelliti di Giove rendono molto difficile l'accertare la loro rotazione. Non di meno questo è stato messo ad esecuzione da G. Herschel mediante la loro relativa lucentezza. Egli osservò che alternativamente questi satelliti eccedono l'un l'altro in lucentezza, e col paragonare i massimi e i minimi dell'illuminazione con le loro posizioni relativamente al sole ed al loro primario, ritrovò che, come nella luna, il tempo della loro rotazione è eguale al periodo della loro rivoluzione intorno a Giove. Miraldi fu condotto alla stessa conclusione riguardo al quarto satellite, dal movimento d'una macchia sulla sua superficie.

SEZIONE X.

Rotazione invariabile della terra — Diminuzione della media temperatura terrestre — La terra in origine allo stato di fusione — Lunghezza costante del giorno — Diminuzione della temperatura attribuita da Giovanni Herschel alla variazione nell' eccentricità dell' orbita terrestre — Differenza nella temperatura de' due emisferi erroneamente ascritta all' eccesso in lunghezza della primavera e dell' estate nell' emisfero australe; attribuita da Carlo Lyell all' effetto delle cause esistenti — Tre assi principali di rotazione — Posizione invariabile dell' asse di rotazione sulla superficie della terra. — L' oceano insufficiente a ristorare l' equilibrio della terra, se disordinato — Densità di esso e profondità media — Struttura interna della terra.

La rotazione della terra che determina la lunghezza del giorno, può essere riguardata come uno degli elementi più importanti nel sistema del mondo. Essa serve come una misura di tempo, e forma il modello di paragone per le rivoluzioni dei corpi celesti, che nel loro proporzionale incremento e decremento manifesterebbero tosto i mutamenti a cui essa potesse andar soggetta. La teoria e l'osservazione concorrono a provare che fra le innumerevoli vicissitudini le quali avvengono in mezzo al creato, il periodo della giornaliera rotazione terrestre è invariabile. L'acqua dei fiumi cadendo da un livello più alto ad uno più basso, porta con sè la velocità dovuta alla sua rivoluzione con la terra in una maggiore distanza dal centro. Essa pertanto accelererà, sebbene d' una quantità quasi infinitamente piccola, la terrestre rotazione giornaliera. La somma di tutti questi incrementi di velocità, che nascono dalla discesa di tutti i fiumi sulla superficie della terra, diverrebbe col tempo percettibile, se la natura col processo dell' evaporazione non inalzasse di nuovo l' acque alle loro sorgenti: e così di nuovo allontanando la materia ad una maggiore distanza dal centro, non distruggesse la velocità generata pel suo avvicinamento anteriore; di modo che la discesa dei fiumi non ha effetto sulla

rotazione della terra. Le masse enormi gittate dai vulcani dall'equatore ai poli, ed il contrario, ne dovrebbero in verità accrescere l'influenza: ma non vi è prova alcuna di tali convulsioni. L'azione perturbatrice della luna e dei pianeti, che ha un così possente effetto sulla rivoluzione della terra, non ne ha nessuna sulla rotazione. Il costante attrito dei venti alisei sulle montagne e i continenti tra i tropici non impedisce la sua velocità, che la teoria pure dimostra esser la stessa come se il mare insieme con la terra formasse una sola solida massa. Se non che, sebbene queste circostanze siano insufficienti, una variazione nella media temperatura occasionerebbe certo una corrispondente mutazione nella velocità di rotazione. Nella dinamica si ha per principio in un sistema di corpi o particelle che si rivolgono attorno ad un asse fisso, che il momento o la somma dei prodotti della massa di ognuna nella sua angolare velocità e distanza dal centro è una quantità costante, se il sistema non è disturbato da una causa estranea. Ora, poichè il numero delle particelle nel sistema è lo stesso, qualunque siasi la temperatura, quando le distanze loro dal centro sono diminuite, la velocità angolare deve essere aumentata, affinchè la precedente quantità possa sempre rimanere costante. Ne segue che siccome il momento primitivo di rotazione col quale la terra fu lanciata nello spazio deve necessariamente restare lo stesso, il più piccolo decrescimento di calore contraendo la sferoide terrestre, accelererebbe la sua rotazione e conseguentemente diminuirebbe la lunghezza del giorno. Malgrado la costante addizione di calorico che proviene dai raggi solari, i geologi dai resti fossili sono stati indotti a credere che la temperatura media del globo sia decrescente.

L'alta temperatura delle miniere, delle sorgenti calde, e sopra tutto i fuochi interni che hanno prodotto e continuano a produrre tanta devastazione nel nostro globo, indicano un aumento di calore verso il centro del pia-

neta. L'aumento in densità corrispondente alla profondità e alla forma della sferoide essendo quale la teoria assegna ad una massa fluida in rotazione, concorrono ad indurre l'idea che la temperatura della terra fu in origine così alta, da tenere tutte le sostanze di che si compone, allo stato di fusione o di vapore, e che nel corso dei secoli si è raffreddata fino allo stato attuale; che essa diventa continuamente più fredda; e che continuerà a fare così, sino a che l'intera massa arrivi alla temperatura del mezzo nel quale è situata, o meglio ad uno stato d'equilibrio tra questa temperatura, il potere raffreddante del suo proprio irraggiamento e l'effetto riscaldante dei raggi solari.

Prima della formazione del ghiaccio ai poli, le antiche terre delle latitudini settentrionali possono senza dubbio essere state capaci di produrre quelle piante tropicali conservate nel carbon fossile, se in realtà tali piante potessero prosperare senza la intensa luce d'un sole tropicale. Ma anche se la decrescente temperatura della terra fosse sufficiente a produrre gli effetti osservati, essa deve essere estremamente lenta nel suo agire, perchè in conseguenza della rotazione terrestre essendovi una misura dei periodi de' movimenti celesti, è stato dimostrato che se la lunghezza del giorno avesse diminuito nella tremillesima parte d'un secondo dopo l'osservazione d'Ipparco fatte duemila anni fa, questo avrebbe diminuito la equazione secolare della luna di 44″·4. Egli è pertanto fuor di dubbio che la media temperatura della terra non può avere sensibilmente variato durante questo tempo. E allora, se le apparenze somministrate dagli strati terrestri sono realmente dovute alla diminuzione della temperatura interna, questo o mostra gl'immensi periodi di tempo richiesti a produrre cangiamenti geologici per i quali duemila anni sono un nulla, o che la media temperatura dalla terra è arrivata allo stato d'equilibrio prima che si siano fatte tali osservazioni.

Per quanto sieno convincenti le indicazioni della fluidità primitiva della terra, siccome non vi sono prove dirette, l'ipotesi non si può avere che per molto probabile. Ma uno de' più profondi filosofi ed eleganti scrittori de' tempi moderni, Giovanni Herschel, ha ritrovato nella variazione secolare della eccentricità dell' orbita terrestre una causa manifesta della decrescente temperatura. Questo distinto autore indicando la mutua dipendenza dei fenomeni, dice: « È evidente che la media temperatura di tutta la superficie terrestre, in quanto che è mantenuta dall'azione del sole ad un grado più alto di quello che sarebbe stata, se fosse estinto il sole, deve dipendere dalla media quantità dei raggi solari ch' essa riceve, o, ciò che è lo stesso, dalla totale quantità ricevuta in un dato tempo invariabile; e la lunghezza dell' anno essendo costante in tutte le fluttuazioni del sistema planetario, ne segue che l' ammontare totale dell' irraggiamento solare determinerà, *cæteris paribus,* il clima generale della terra. Ora non è difficile a dimostrarsi che questo ammontare è inversamente proporzionale all' asse minore dell' ellisse descritta dalla terra attorno il sole (N. 143), riguardato come lentamente variabile; e che pertanto l'asse maggiore restando, come sappiamo, costante, e l' orbita essendo realmente in uno stato di approssimazione alla figura circolare e per conseguenza l' asse minore essendo sull' incremento, l' ammontare medio annuo dell' irraggiamento solare ricevuto da tutta la terra deve essere realmento sul decrescere. Noi abbiamo da questo una evidente causa reale per render conto del fenomeno. » I limiti della variazione nell' eccentricità dell' orbita terrestre sono incogniti. Ma se la sua ellitticità è sempre stata così grande come quella dell' orbita di Mercurio o di Pallade, la temperatura media della terra deve essere stata sensibilmente più alta che non lo sia presentemente. Se questa fu grande abbastanza da rendere i nostri climi nordici atti alla produzione delle piante tropicali e per la

residenza dell' elefante e di altri animali che ora abitano la zona torrida, egli è impossibile a dirlo.

Del decrescimento di temperatura nell' emisfero settentrionale vi è una grande prova nelle piante fossili discoperte in altissime latitudini, piante che potrebbero solo avere esistito in un clima tropicale, e che devono essere cresciute vicino al luogo dove sono state ritrovate per la delicatezza della loro struttura e per lo stato di perfetta conservazione. Questo cambiamento di temperatura è stato erroneamente attribuito ad un eccesso di durata della primavera e della estate nell' emisfero settentrionale in conseguenza dell' eccentricità dell' ellisse solare. La lunghezza delle stagioni varia colla posizione del perielio (N. 64) dell' orbita della terra per due ragioni. Riguardo all' eccentricità, piccola come essa è, una linea che passi per il centro del sole divide l' ellisse terrestre in due parti disuguali, e per le leggi del moto ellittico la terra si muove per queste due porzioni con velocità disuguali. Il perielio sempre sta nella porzione minore e dove il movimento della terra è più rapido. Nell' attuale posizione del perielio, la primavera e l' estate al nord dell' equatore eccedono di circa otto giorni la durata delle stagioni stesse al sud del medesimo. E 10,492 anni fa, l' emisfero australe godeva il vantaggio che ora noi godiamo per la variazione secolare del perielio. Nondimeno Giovanni Herschel ha dimostrato che per questa alternazione nè l' uno nè l' altro emisfero acquista un eccesso di luce o di caldo sopra l' altro; perchè quantunque la terra sia più vicina al sole mentre si muove in quella parte della sua orbita nella quale si ritrova il perielio, che nell' altra parte, e riceva per conseguenza una quantità maggiore di luce e di calore, siccome però essa si muove più veloce, così è esposta al caldo per un tempo più corto. Nell' altra parte dell' orbita, al contrario, la terra essendo più dal sole lontana, riceve minor numero di raggi; ma poichè il suo movimento è più lento, essa è esposta ad essi per un più

lungo tempo; e siccome in ambi i casi la quantità del calore e la velocità angolare varia esattamente nella stessa proporzione, ha luogo una perfetta compensazione (N. 144). Così che l'eccentricità dell'orbita terrestre ha poco o nessuno effetto sulla temperatura corrispondente alla differenza delle stagioni.

Carlo Lyell nelle sue stupende opere di geologia attribuisce il freddo accresciuto dell'emisfero settentrionale all'operazione delle cause esistenti: la qual opinione ha molto più di probabilità che la maggior parte delle teorie che sono state proposte come soluzione di questo difficile argomento. Le montagne più alte sarebbero rappresentate come un grano d'arena sopra un globo di sei piedi in diametro, e la profondità dell'oceano come uno sgraffio sulla sua superficie. Conseguentemente la graduale elevazione di un continente o di una catena di montagne sopra la superficie dell'oceano, o la loro depressione al di sotto dello stesso, non è un grande avvenimento, paragonato con la grandezza della terra e l'energia dei suoi fuochi sotterranei, se si ammettano nel progresso dei fenomeni geologici come negli astronomici, gli stessi periodi di tempo, i quali le successive e varie razze d'esseri estinti dimostrano essere stati immensamente lunghi. Il clima è sempre più intenso nell'interno dei continenti che nelle isole o sulle spiagge marine. Un aumento di suolo dentro i tropici accrescerebbe per questo il generale calore, ed un simile aumento nelle zone temperate e fredde renderebbe il freddo più aspro. Ora si vede che la maggior parte dei continenti Europeo, Nord Asiatico, e Nord-Americano e delle isole si è innalzata dal profondo dopo che erasi formato il carbon fossile, nel quale si sono ritrovate le piante fossili tropicali: ed una quantità di avvenimenti geologici indica l'esistenza d'un arcipelago antico ed esteso attraverso la maggior parte dell'emisfero settentrionale. Carlo Lyell per questo è d'opinione che i climi di queste isole devono essere stati abbastanza miti, in con-

seguenza del circondante oceano, da rivestirle di piante tropicali e renderle un soggiorno adattato per animali smisurati, i cui resti fossili si vanno così spesso ritrovando; che le felci arborescenti e le palme di queste regioni portate dalle correnti al fondo dell' oceano furono allettate negli strati che a gradi si sono elevati in forza de' fuochi sotterranei durante una lunga successione di secoli, sino a che la maggior parte dell' emisfero settentrionale diventò terreno asciutto come lo è presentemente, e che la conseguenza n'è stata un continuo decrescimento di temperatura.

Egli è evidente per le conchiglie marine ritrovate sulle vette delle montagne più alte e quasi in ogni parte del globo, che immensi continenti sono stati sollevati sopra l' oceano che deve averne fatti sprofondare degli altri. Una tale catastrofe potrebbe essere stata prodotta da una variazione nella posizione dell' asse di rotazione sulla superficie terrestre; motivo per cui i mari tendendo ad un nuovo equatore avrebbero lasciate alcune parti del globo e ricopertone delle altre. Ora egli è mostrato dalle leggi meccaniche che in ogni corpo, qualunque siasi la sua forma o densità, vi sono almeno tre assi ad angoli retti l' uno all' altro, intorno alcuno dei quali, se il solido comincia a girare, continuerà a rivolgervisi per sempre, purchè non sia disturbato da una causa estranea, ma che la rotazione attorno ad altro asse durerà solo per un istante, e conseguentemente i poli o le estremità dell' asse istantaneo di rotazione cangerebbero perpetuamente la loro posizione sulla superficie del corpo. In un ellissoide di rivoluzione il diametro polare ed ogni diametro nel piano dell' equatore sono i soli assi permanenti di rotazione (N. 145). Quindi, se l' ellissoide cominciasse a girare intorno a qualche diametro tra il polo e l' equatore, il movimento sarebbe così instabile, che l' asse di rotazione e la posizione dei poli cangerebbero ad ogni istante. Per questo, siccome la terra non diffe-

risce molto da questa figura, se non girasse attorno ad uno degli assi principali, la posizione dei poli cangerebbe giornalmente; l' equatore che è distante 90° soffrirebbe variazioni corrispondenti; e le latitudini geografiche di tutti i luoghi essendo calcolate dall' equatore, supposto fisso, sarebbero perpetuamente cangiate. Uno spostamento nella posizione dei poli di sole dugento miglia sarebbe sufficiente a produrre questi effetti, e sarebbe immediatamente scoperto. Ma siccome le latitudini si ritrovano invariabili, si può concludere che la sferoide terrestre deve avere girato attorno l' asse stesso per secoli. La terra ed i pianeti differiscono così poco dalle elissoidi di rivoluzione che con tutta probabilità una librazione da un asse ad un altro prodotta dal primitivo impulso che li pose in moto, deve aver cessato tosto dopo la loro creazione per l' attrito dei fluidi alla loro superficie. La teoria ancora prova che nè nutazione, nè precessione, nè alcuna delle forze perturbatrici che hanno effetto sul sistema, ne fanno il più piccolo sull' asse di rotazione che mantiene una permanente posizione sulla superficie, se la terra non è disturbata nella sua rotazione da una causa straniera, come la collisione di una cometa che possa essere accaduta nell' immensità del tempo. Ma fosse questo stato il caso, i suoi effetti sarebbero ancora percettibili nelle variazioni delle latitudini geografiche. Se supponiamo che abbia avuto luogo un tale avvenimento e che il disturbo sia stato grande, l' equilibrio allora solo sarebbesi ristaurato rispetto al nuovo asse di rotazione, col lanciarsi dei mari all' equator nuovo, il che dovrebbero aver continuato a fare sino a che la superficie fosse da ogni parte perpendicolare alla direzione della gravità. Ma è probabile che un tale accumulo di acque non sarebbe sufficiente a ristorare l' equilibrio se lo sconvolgimento fosse stato grande, perchè la densità media del mare è solo circa una quinta parte della densità media della terra, e la profondità media dell' Oceano Pacifico si suppone non essere

maggiore di 4 o 5 miglia, mentre il diametro polare della terra è superato dall'equatoriale di circa 26 miglia e $\frac{1}{2}$. Per conseguenza l'effetto del mare sulla direzione della gravità è piccolissimo. E siccome in questo modo è chiaro che un gran cangiamento nella posizione dell'asse è incompatibile con la legge dell'equilibrio, i fenomeni geologici in questione devono essere attribuiti ad una causa interna. Di fatti è ora dimostrato che gli strati, che contengono avanzi marini che si ritrovano a situazioni alte, devono essere stati formati nel seno dell'oceano ed innalzati dopo per l'azione di fuochi sotterranei. Inoltre è chiaro dalla misura degli archi del meridiano e dalla lunghezza del pendolo a secondi, come pure dalla teoria della luna, che gli strati interiori ed anche l'esterno contorno lineare del globo sono ellittici, essendo i loro centri coincidenti e i loro assi identici con quello della superficie: stato di cose, che secondo il distinto autore or sopra citato è incompatibile con un accomodamento posteriore della superficie ad una nuova e differente posizione di rotazione da quella che determinò l'originale distribuzione della materia componente. Così in mezzo alle potenti rivoluzioni che hanno distrutto sulla terra innumerevoli razze di esseri organizzati, che hanno sollevato piani, ed hanno seppellito montagne nell'oceano, la rotazione della terra e la posizione degli assi sulla sua superficie non hanno sofferto che lievi variazioni.

Gli strati della sferoide terrestre non solo sono concentrici ed ellittici, ma le disuguaglianze lunari mostrano ch'essi crescono in densità dalla superficie della terra al suo centro. Questo sarebbe accaduto certamente se la terra ab origine fosse stata fluida, perchè le parti più dense dovevano depositarsi verso il centro quando essa si accostava ad uno stato d'equilibrio. Ma la enorme pressione della massa sovrastante è causa sufficiente per tale fenomeno. Il professor Leslie osserva che l'aria compressa nella 50ma parte del suo volume ha la sua ela-

sticità cinquanta volte maggiore: se l'aria continua ad essere compressa nella stessa ragione, acquista dal suo peso superiore la stessa densità che ha l'acqua alla profondità di 34 miglia. Ma l'acqua stessa raddoppierebbe la sua densità alla profondità di 93 miglia, ed arriverebbe ancora alla densità del mercurio alla profondità di 362 miglia. Discendendo pertanto verso il centro per quasi 4000 miglia, la condensazione delle sostanze ordinarie sorpasserebbe ogni maggior potere d'imaginazione. Il dottor Young dice che l'acciaio sarebbe compresso d'un quarto, e una pietra d'un ottavo del suo volume al centro della terra. Quantunque noi siamo all'oscuro delle leggi di compressione dei solidi al di là di certi limiti, dagli esperimenti di Perkins essi appariscono capaci d'un maggior grado di compressione che generalmente si sia creduto.

Se non che una densità così grande non è manifestata dall'osservazione astronomica. Potrebbe sembrare seguirne che il nostro pianeta abbia una struttura ampiamente cavernosa e che noi camminiamo sopra una crosta o guscio, la cui grossezza è in una piccolissima proporzione col diametro della sua sfera. Probabilmente ancora questa grande condensazione nelle regioni centrali può essere controbilanciata per la cresciuta elasticità dovuta ad un'altissima temperatura.

SEZIONE XI.

Precessione e Nutazione — Loro effetti sulle apparenti situazioni delle stelle fisse.

Si è dimostrato che l'asse di rotazione è invariabile sulla superficie della terra; e l'osservazione come la teoria provano che se non fosse per l'azione del sole e della luna sulla materia dell'equatore, egli rimarrebbe esattamente parallelo a sè stesso in ogni punto dell'orbita sua.

L'attrazione d'un corpo esteriore non solo tira una sferoide verso di lui, ma siccome la forza varia inversamente come il quadrato della distanza, l'attrazione suddetta dà alla sferoide un moto attorno il suo centro di gravità, a meno che il corpo attraente sia situato nella prolungazione di uno degli assi della sferoide. Il piano dell'equatore è inclinato al piano dell'eclittica d'un angolo di 23°27′28″·29; e l'inclinazione dell'orbita lunare al medesimo è di 5°·8′47″·9. A motivo della figura cipollare della terra, il sole e la luna che agiscono obliquamente e disugualmente sulle differenti parti della terrestre sferoide, spingono il piano dell'equatore dalla sua direzione, e lo fanno muovere dall'oriente all'occidente, così che i punti equinoziali hanno un lento movimento retrogrado sul piano dell'eclittica di 50″·41 annualmente. La tendenza diretta di quest'azione è di fare coincidere i piani dell'equatore e dell'eclittica; ma essa è bilanciata dalla tendenza della terra a ritornare a stabile rotazione attorno al diametro polare, che è uno de' suoi assi principali di rotazione. Per questo l'inclinazione dei due piani rimane costante, come una trottola dormente conserva l'istessa inclinazione al piano dell'orizzonte. Se la terra fosse sferica, questo effetto non sarebbe prodotto, e gli equinozi corrisponderebbero sempre coi punti stessi dell'eclittica, almeno per quanto spetta a questa specie di movimento. Ma un'altra causa, e totalmente differente, la quale agisce su questo movimento, è già stata menzionata. L'azione dei pianeti l'uno sull'altro e sul sole cagiona una variazione lentissima nella posizione del piano dell'eclittica, che ha effetto sulla sua inclinazione al piano dell'equatore, e dà ai punti equinoziali un movimento lento ma diretto sull'eclittica di 0″·31 all'anno, che è totalmente indipendente dalla figura della terra e sarebbe lo stesso se essa fosse una sfera. Così il sole e la luna movendo il piano dell'equatore sono causa che i punti equinoziali siano retrogradi sull'eclittica; e

i pianeti movendo il piano dell'eclittica, dieno loro un movimento diretto, sebbene molto minore del primo. Per conseguenza la differenza dei due movimenti è la precessione media, che è provato e dalla teoria e dalla osservazione essere circa 50″·1 annualmente (N. 146.)

Siccome le longitudini di tutte le stelle fisse sono aumentate di questa quantità, gli effetti di questa precessione presto vengono scoperti. Così essa fu scoperta da Ipparco nell'anno 128 prima di Cristo dietro un paragone fra le sue proprie osservazioni con quelle di Tiomocari di 155 anni innanzi. Al tempo d'Ipparco l'ingresso del sole nella costellazione d'Ariete segnava il principio di primavera; ma da quel tempo i punti equinoziali hanno receduto di 30°, cosicchè le costellazioni chiamate i segni dello zodiaco sono ora a una considerevole distanza da quelle divisioni dell'eclittica che portano i loro nomi. Muovendosi in ragione di 50″·1 all'anno, i punti equinoziali compiranno una rivoluzione in 25,868 anni. Ma siccome la precessione varia nei differenti secoli, l'estensione di questo periodo sarà leggermente modificata. Poichè il moto del sole è diretto e quello dei punti equinoziali retrogrado, il sole mette minor tempo a ritornare all'equatore, che ad arrivare alle stesse stelle fisse; così che l'anno tropicale di $365^{g}\ 5^{or}\ 48'\ 49''{\cdot}7$ deve essere aumentato del tempo che il sole mette a muoversi per un arco di 50″·1, affine di avere la lunghezza dell'anno sidereo. Il tempo richiesto è di 20′ 19″·6. Così che l'anno sidereo contiene $365^{g}\ 6^{or}\ 9'\ 9''{\cdot}6$ medi giorni solari.

La precessione media annuale è soggetta ad una variazione secolare; perchè sebbene il cangiamento nel piano dell'eclittica nel quale l'orbita del sole giace, sia indipendente dalla figura della terra, pure portando il sole, la luna e la terra in differenti relative posizioni di secolo in secolo, si altera l'azione diretta dei due primi sulla prominente materia dell'equatore: per un tale rispetto il movimento degli equinozi è maggiore di 0″·455

al presente che si fosse al tempo d'Ipparco. In conseguenza la lunghezza attuale dell' anno tropicale è circa 4″·21 più breve che fosse a quel tempo. Il cangiamento massimo che possa provare da questa causa, ascende a 43 secondi.

Tale è il movimento secolare degli equinozii. Ma qualche volta è accresciuto e qualche volta diminuito da periodiche variazioni, i cui periodi dipendono dalle relative posizioni del sole e della luna rispetto alla terra, e che sono prodotte dall' azione diretta di questi corpi sull' equatore. Il dottor Bradley scoperse che per questa azione la luna è causa che il polo dell' equatore descriva una piccola elisse nel cielo, gli assi della quale sono 18″·5 e 13″·674, essendo il più lungo, diretto verso il polo dell' eclittica. Il periodo di questa disuguaglianza è circa 19 anni, tempo impiegato dai nodi dell' orbita lunare a compiere una rivoluzione. Il sole cagiona una piccola variazione nella descrizione di questa ellisse; esso scorre il periodo suo in un mezz' anno. Poichè tutta la terra obbedisce a questi movimenti, essi hanno effetto sulla posizione del suo asse di rotazione rispetto al cielo stellato, sebbene non rispetto alla superficie terrestre; perchè in conseguenza della precessione sola, il polo dell' equatore muovesi in un cerchio attorno il polo dell' eclittica in 25,868 anni e per la nutazione sola esso descrive una piccola ellisse nel cielo ogni 19 anni su due lati della quale il polo devia ogni mezz' anno per l' azione solare. La curva reale tracciata nei cieli stellati per una prolungazione immaginaria dell' asse della terra è composta di questi tre moti (N. 147.) Questa nutazione nell' asse della terra ha effetto sulla precessione e sull' obliquità con piccole variazioni periodiche. Ma a motivo della variazione secolare nella posizione dell' orbita terrestre che principalmente si deve all' energia perturbatrice di Giove sulla terra, l' obliquità dell' eclittica è annualmente diminuita secondo Bessel di 0″·457. Questa varia-

zione nel corso dei secoli può ammontare a 10° o 11° gradi. Ma l'obliquità dell'eclittica all'equatore non può giammai variare di più che 2° 42′, o 3°, poichè l'equatore seguirà in qualche modo il movimento dell'eclittica.

Egli è evidente che le posizioni di tutti i corpi celesti sono alterati dalla precessione e dalla nutazione. Le loro longitudini calcolate dall'equinozio sono aumentate per la precessione; ma siccome questa ha effetto egualmente su tutti i corpi, non produce nessun cangiamento nelle loro respettive posizioni. Le latitudini celesti e le celesti longitudini non sono alterate che ad un piccolo grado per la nutazione: quindi tutte le osservazioni devono esser corrette per queste disuguaglianze. In conseguenza di questo movimento reale nell'asse della terra la stella polare che forma parte della costellazione della Piccola Orsa, che una volta era 12° lontana dal polo celeste, è ora alla distanza di 1 grado e 24′ da esso, e continuerà ad accostarsegli finchè sia distante di $\frac{1}{2}$°, dopo di che ritirerassi dal polo per molti secoli; e la stella α della Lira fra 12,934 anni arriverà a 5° dal polo celeste e diventerà la stella polare dell'emisfero settentrionale.

SEZIONE XII.

Tempo sidereo medio ed apparente — Tempo solare medio ed apparente — Equazione del tempo. Suddivisione inglese e francese del tempo — Anno bisestile — Era cristiana — Tempo equinoziale — Ere rimarcabili dipendenti dalla posizione del perigeo solare — Ineguaglianza delle lunghezze delle stagioni nei due emisferi — Applicazione dell'astronomia alla cronologia — Campioni di pesi e di misure inglesi e francesi.

L'astronomia è stata d'uso immediato ed indispensabile nel somministrare invariabili campioni per misurare la durata, la distanza, la grandezza e la velocità. Il giorno

medio sidereo misurato dal tempo scorso fra due consecutivi passaggi d' una stella allo stesso meridiano (N. 148) e l' anno medio sidereo che è il tempo incluso fra due consecutivi ritorni del sole alla stessa stella, sono tipi immutabili coi quali vengono paragonati tutti i grandi periodi del tempo: le oscillazioni isocrone del pendolo misurano le sue più piccole porzioni. Per mezzo di questi invariabili modelli soltanto possiamo giudicare de' lenti mutamenti ai quali altri elementi del sistema possono andare soggetti. L' apparente tempo siderale che è misurato dal passaggio del punto equinoziale al meridiano d' un luogo è una quantità variabile per gli effetti della precessione e della nutazione. Gli orologi che indicano il tempo siderale apparente, sono adoperati per l'osservazione, e sono così regolati, che indicano $0^{re}\ 0^{m}\ 0^{s}$ all' istante, in cui il punto equinoziale passa il meridiano dell' osservatorio. E siccome il tempo è una misura di moto angolare, l' orologio dà le distanze dei corpi celesti dall' equinozio per l' osservazione dell' istante al quale ognuno passa il meridiano, e convertendo gl' intervalli in archi nella ragione di 15° all' ora.

I ritorni del sole al meridiano e allo stesso equinozio o solstizio, sono stati generalmente adottati come la misura dei nostri giorni ed anni civili. Il giorno solare od astronomico è il tempo che scorre tra due consecutivi mezzi giorni o mezze notti; per conseguente è più lungo del giorno sidereo a motivo del movimento proprio del sole, durante una rivoluzione della sfera celeste. Ma siccome il sole muovesi con maggiore velocità al solstizio d' inverno che a quello d' estate; il giorno astronomico è più approssimativamente eguale al giorno sidereo in estate, che in inverno. L' obliquità dell' eclittica ancora influisce sulla sua durata; perchè vicino agli equinozi, l'arco dell' equatore è minore che l' arco corrispondente dell' eclittica, e nei solstizi è maggiore (N. 149). Il giorno astronomico è per questo diminuito nel primo caso, ed accre-

sciuto nel secondo. Se il sole muovesi uniformemente nell'equatore alla ragione di 59′ 8″·33 ogni dì, i giorni solari sarebbero tutti eguali. Il tempo pertanto che è calcolato per l'arrivo d'un sole immaginario meridiano, o di un sole che si muove, come supponsi, uniformemente nell'equatore, è denominato il tempo medio solare, ed è dato dagli orologi nella vita comune. Quando si calcola per l'arrivo del sole reale al meridiano, egli è tempo vero o apparente, ed è indicato dagli orologi a sole. La differenza tra il tempo indicato da un orologio e da una meridiana è l'equazione del tempo dato nell'Almanacco Nautico, la quale differenza qualche volta ammonta a 16 minuti. Il tempo apparente e il medio coincidono quattro volte dell'anno; quando il movimento diurno del sole in ascensione retta è eguale a 59′, 8″·33 in un giorno medio solare, il che accade circa il 16 d'aprile, il 16 di giugno, il 1 di settembre e il 25 di dicembre.

Il giorno astronomico comincia a mezzogiorno; ma nel calcolo comune, il giorno comincia a mezza notte. In Inghilterra è diviso in 24 ore che sono contate di 12 in 12: ma in Francia gli astronomi adottando la divisione decimale dividono il giorno in 10 ore, l'ora in 100′ e il minuto in 100″ a motivo della facilità nel calcolo e della conformità col loro sistema decimale di pesi e misure. Questa suddivisione non è ancora praticata nella vita comune, nè è stata adottata in alcun altro paese; e sebbene qualche scrittore di scienze in Francia continui ad usare questa divisione del tempo, l'uso comincia ad abbandonarsi. In un periodo della rivoluzione del 1789, in Francia l'orologio dei giardini delle Tuilleries fu regolato in modo da indicare il tempo decimale. La lunghezza media del giorno sebbene accuratamente determinata, non basta per le occorrenze sia dell'astronomia sia della vita civile. L'anno tropicale o civile di $365^g\ 5^{or}\ 48'\ 49''{\cdot}7$ che è tempo scorso tra i consecutivi ritorni del sole ai medi equinozi o solstizi, e il quale inchiude tutti i cambiamenti

delle stagioni, è un ciclo naturale particolarmente convenuto per una misura di durata. Dal solstizio d' inverno è calcolato il punto medio della lunga annua notte sotto il polo settentrionale. Ma sebbene la lunghezza dell' anno civile sia indicata dalla natura come una misura di lunghi periodi, la incommensurabilità che esiste tra la lunghezza del giorno e la rivoluzione del sole, rende difficile l' aggiustare la misura di tutti e due in numeri interi. Se la rivoluzione del sole si compisse in 365 giorni, tutti gli anni sarebbero precisamente dello stesso numero di giorni, e comincerebbero e finirebbero col sole allo stesso punto dell' eclittica. Ma siccome la rivoluzione del sole inchiude la frazione d' un giorno, un anno civile ed una rivoluzione del sole non hanno la stessa durata. E poichè la frazione è quasi il quarto d' un giorno, essa in 4 anni è quasi eguale ad una rivoluzione del sole, così l' addizione d' un giorno soprannumerario ogni quattro anni, quasi compensa la differenza. Ma in progresso di tempo sarà necessaria un' ulteriore correzione, perchè la frazione è minore di un quarto di giorno. Infatti, se un bisestile viene soppresso alla fine di tre sopra quattro secoli, l' anno così determinato eccederà il vero anno solo d' una piccolissima frazione d' un giorno; e se di più fosse soppresso un bisistile ogni 4000 anni, la lunghezza dell'anno sarebbe approssimativamente eguale a quella data dall' osservazione. Se la frazione fosse negletta, il principio dell' anno precederebbe quello dell' anno tropicale; così che questo sarebbe retrogrado rispetto le differenti stagioni in un periodo di circa 1507 anni. L' anno egiziano cominciava coll' eliaco sorgere di Sirio (N. 150), e conteneva soli 365 giorni; per il che gli Egiziani perdevano un anno in ogni 1461 anni, loro periodo sottaico, o quel ciclo nel quale il nascere eliaco di Sirio passa a traverso l' intero anno e coincide di nuovo col giorno stesso. La divisione dell' anno in mesi è antichissima e quasi universale: ma il periodo di sette giorni, certo la divisione

del tempo la più permanente ed il monumento più antico delle cognizioni astronomiche, era usata dai Brahmini nell' India con gli stessi nomi impiegati da noi, e fu parimente ritrovata nei calendari dei Giudei, Egiziani, Arabi ed Assiri. Essa ha sopravvissuto alla caduta degli imperi, ed ha esistito per tutte le successive età; prova di un'origine comune della razza umana.

Il giorno della nuova luna che seguì immediatamente il solstizio d'inverno nel 707mo anno di Roma, si ebbe pel 1 gennaio dell'anno primo di G. Cesare. Il 25 dicembre di questo anno, è considerato come la data della nascita del Salvatore, e il 46mo del calendario Giuliano è preso per il primo anno dell'èra nostra. L'anno precedente è chiamato l'anno primo avanti Cristo dai cronologisti, ma gli astronomi lo chiamano anno zero. L'anno astronomico comincia il 31 dicembre a mezzo giorno: e la data d'un' osservazione esprime i giorni e le ore che sono attualmente scorse da quel tempo.

Poichè il tempo solare e siderale sono calcolati dal passaggio del sole e dal punto equinoziale attraverso il meridiano d'ogni luogo, le ore sono differenti nei luoghi differenti: mentre è un' ora in un sito, sono le due in un altro, le tre in un altro; quindi è evidente che è mezzodì in una parte del globo al momento stesso che è mezzanotte nella parte diametralmente opposta: per conseguenza un evento che arriva ad un medesimo istante di tempo assoluto è riportato in luoghi differenti come accaduto in tempi differenti. Per questo, quando le osservazioni fatte in differenti luoghi sono da paragonarsi, devono essere ridotte col calcolo a ciò che esse sarebbero state se fossero state fatte sotto il medesimo meridiano. A risparmiare questa riduzione, G. Herschel propose di usare il tempo medio equinoziale, che è lo stesso per tutto il mondo ed indipendente parimenti dalle circostanze locali e dalle disuguaglianze nel movimento del sole. Questo è il tempo scorso dall' istante in cui il sole medio entra nell' equinozio medio

di primavera ed è calcolato in giorni medi solari e in parti di giorno.

Alcune ère astronomiche rimarchevoli sono determinate dalla posizione dell'asse maggiore dell'ellisse solare, il quale dipende dal movimento diretto del perigeo (N. 102), e dalla precessione degli equinozi unitamente; l'annuo movimento dell'uno essendo 11″·8 e quello dell'altro 50″·1. Quindi l'asse movendosi in ragione di 61″·9 annualmente, compisce una rivoluzione tropicale in 209·84 anni. Esso coincideva con la linea degli equinozi 4000, o 4089 anni prima dell'èra cristiana, molto vicino a quel tempo che i cronologisti assegnano alla creazione dell'uomo. Nel 6483 l'asse maggiore coinciderà di nuovo colla linea degli equinozi, ma allora il perigeo solare coinciderà coll'equinozio d'autunno, mentre alla creazione dell'uomo coincideva coll'equinozio di primavera. Nell'anno 1246 l'asse maggiore era perpendicolare alla linea degli equinozi; allora il perigeo solare coincideva col solstizio d'estate e l'apogeo col solstizio d'inverno. Secondo La Place, che calcolava questi periodi da differenti dati, l'ultima coincidenza accadeva l'anno 1250 dell'èra nostra, il che lo induceva a proporre quell'anno come un'epoca universale; l'equinozio di primavera dell'anno 1250 doveva essere il primo giorno dell'anno primo. Queste ère possono solo essere considerate come approssimative; poichè l'antiche osservazioni sono troppo inesatte, e le moderne troppo recenti per somministrare dati per la loro precisa determinazione.

La variazione nella posizione dell'ellisse solare produce corrispondenti cangiamenti nella lunghezza delle stagioni. Nella presente sua posizione la primavera è più breve che l'estate; e l'autunno più lungo che l'inverno: e mentre il solare perigeo continua com'è presentemente tra il solstizio invernale e l'equinozio di primavera, il periodo che inchiude primavera ed estate sa-

rà più lungo che quello che inchiude autunno ed inverno. In questo secolo la differenza è tra sette ed otto giorni. Gl' intervalli saranno eguali verso l' anno 6483, quando il perigeo coinciderà coll' equinozio di primavera; ma quando sarà passato questo punto, la primavera e l' estate prese insieme saranno più corte che il periodo che inchiude l' autunno e l' inverno (N. 151). Questi cangiamenti saranno compiti in una rivoluzione tropicale dell' asse maggiore dell' orbita terrestre, la quale inchiude un intervallo di 20,984 anni. Se l' orbita della terra fosse circolare, le stagioni sarebbero eguali; la loro differenza nasce dall' eccentricità dell' orbita, piccola come essa è: ma i cangiamenti sono così insignificanti, da essere impercettibili nel breve corso della vita umana.

Nessuna circostanza in tutta la scienza astronomica eccita un maggiore interesse che la sua applicazione alla cronologia. « Intere nazioni (dice La Place) sono state spazzate via dalla terra coi loro linguaggi, colle loro arti e scienze, non lasciando che masse confuse di ruine ad indicare il luogo dove città potenti si innalzavano; la loro storia, ad eccezione di poche dubbiose tradizioni, è perita: ma la perfezione delle loro astronomiche osservazioni segna la loro grande antichità, fissa i periodi della loro esistenza, e prova che anche in quella epoca primitiva esse dovevano aver fatto considerevoli progressi nella scienza. » L'antico stato dei cieli può essere calcolato ora con grande accuratezza; e, paragonando i risultati del calcolo con le antiche osservazioni, l' esatto periodo al quale esse sono state fatte, può essere verificato se vero o no, ed il loro errore può essere scoperto. Se la data è esatta e l' osservazione buona, verificherassi l' accuratezza delle tavole moderne, e si dimostrerà a quanti secoli possono essere estese senza timore di sbaglio. Pochi esempi dimostreranno l' importanza del soggetto.

Nei solstizi, il sole è alla sua maggiore distanza dall' equatore; per conseguenza la sua declinazione a queste

epoche è eguale alla obliquità dell' eclittica (N. 152), che era anticamente determinata dalla lunghezza meridiana dell' ombra dello stilo d' un gnomone al dì del solstizio. Le lunghezze dell' ombra meridiana nei solstizi di estate e d' inverno sono ricordate essere state osservate nella città di Layang in China 1100 anni prima dell' èra cristiana. Per queste sono conosciute le distanze del sole dallo zenit (N. 153) della città di Layang: la mezza somma di queste distanze zenitali determina la latitudine, e la metà della loro differenza dà l' obliquità dell' eclittica al periodo dell' osservazione: e siccome la legge della variazione dell' obliquità è nota, il tempo e il luogo delle osservazioni sono stati verificati per i calcoli delle tavole moderne. Così i Chinesi avevano fatto alcuni progressi nella scienza dell' astronomia in quell' antico periodo. La loro intera cronologia è fondata sulle osservazioni dell' eclissi, il che prova l'esistenza di quell' impero per più di 4700 anni. L' epoca delle tavole lunari degli Indiani, supposta da Bailly essere di 3000 anni prima dell' èra cristiana, fu dimostrata dal La Place, per l'accelerazione della luna, non essere più antica del tempo di Tolomeo, che viveva nel secondo secolo dell' èra suddetta. La grande disuguaglianza di Giove e di Saturno, il cui ciclo abbraccia 918 anni, è peculiarmente atta per segnare la civilizzazione di un popolo. Gl' Indiani hanno determinato i movimenti medi di questi due pianeti in quella parte dei periodi, quando il movimento medio apparente di Saturno era il più lento e quello di Giove il più rapido. I periodi, nei quali questo accadeva, erano 3102 anni prima dell' èra cristiana, e l' anno 1491 dopo la stessa èra. I ritorni delle comete ai loro perielii possono probabilmente indicare lo stato presente dell' astronomia alle età future.

Le posizioni delle stelle fisse sono alterate dalla precessione degli equinozi; e siccome la legge di questa variazione è conosciuta, le posizioni delle stelle fisse posso-

no in qualsiasi epoca essere calcolate. Ora Eudosso, contemporaneo di Platone, fa menzione d' una stella situata nel polo dell' equatore, e si vede dal calcolo che *α Draconis* non era lontanissima da quel luogo circa 3000 anni fa; ma siccome sono soli 2150 anni che Eudosso viveva, egli deve avere descritto uno stato dei cieli anteriore, che supponsi sia lo stesso che fu ricordato da Chirone circa il tempo della guerra troiana. Così ogni circostanza concorre a mostrare che l' astronomia fu coltivata nei più remoti secoli dell' antichità.

Egli è probabile che la conoscenza dell' astronomia conduca all' interpretazione dei caratteri geroglifici. Segni astronomici si ritrovano spesso negli antichi monumenti egiziani, probabilmente usati dai sacerdoti a ricordare le date. L' Autrice ha avuto occasione di essere testimone d' un esempio di quest' importante applicazione dell' astronomia, nell' accertare la data d' un papiro, mandato dall' Egitto dal sig. Salt nelle ricerche geroglifiche del defunto dottor Tommaso Young, le cui profonde e svariate cognizioni fanno onore al suo paese e alla età in cui viveva. Il manoscritto fu ritrovato in una cassa da mummia: si provò ch' era un oroscopo dell' età di Tolomeo, e la sua data fu determinata dalla configurazione dei cieli al tempo della sua costruzione.

La forma della terra fornisce un tipo di pesi e misure per gli ordinari bisogni della vita, come per la determinazione delle masse e delle distanze dei corpi celesti. La lunghezza del pendolo a secondi del tempo medio solare nella latitudine di Londra forma il campione delle misure inglesi per l' estensione. La sua lunghezza approssimativa, mentre oscilla nel vuoto alla temperatura di 62° Fahrenheit e ridotta al livello del mare (N. 154) fu determinata del capitano Kater essere pollici 39·1393. Il peso d' un pollice cubico di acqua alla temperatura di 62° Fahrenheit, barometro 30 pollici, fu ancora determinato in parti dell' imperiale peso *troy*:

quindi un modello ne fu dedotto di peso e di capacità. La Francia ha adottato il metro, eguale a 3·2808992 piedi inglesi, per unità di misura lineare. Questa è la 10 milionesima parte di quel quadrante del meridiano che si estende dall' equatore al polo, siccome fu dedotto dalle misure dell' arco separato, che si estende da Formentera, la più meridionale delle Isole Baleari, a Dunkirk. Se i tipi nazionali di queste due contrade fossero perduti nelle vicende dell' umane cose, ambedue possono essere ricuperati, perchè derivati da modelli naturali invariabili. La lunghezza della misura dedotta da quella del pendolo sarebbe di nuovo ritrovata con maggiore facilità che il metro: ma siccome nessuna misura è matematicamente esatta, un errore nel modello originale può alla lunga divenire sensibile misurando una grande estensione; mentre l' errore che deve necessariamente derivare misurando il quadrante del meridiano (N. 155) è reso totalmente insensibile per la suddivisione, prendendo la sua diecimilionesima parte. I Francesi hanno adottato la divisione decimale non solo nel tempo ma ancora nei gradi, pesi e misure, a motivo della grandissima facilità che si ottiene nel calcolo. Questo non è stato adottato da alcun' altra nazione, sebbene nulla vi sia di più desiderabile che tutte le nazioni concorrano nell' uso degli stessi tipi, non solo riguardo alla comodità, ma siccome cosa che somministra ancora un' idea più precisa della quantità. Egli è singolare che la divisione decimale del giorno, dei gradi, dei pesi e delle misure fu usata nella China 4000 anni fa, e che al tempo che Ibn Junis faceva le sue osservazioni al Cairo circa l' anno 1000 dell' èra cristiana, gli Arabi avessero l' uso di impiegare le oscillazioni del pendolo nelle loro osservazioni astronomiche come una misura di tempo.

SEZIONE XIII.

Maree — Forze che le producono — Origine e corso dell' onde della marea — Sua velocità — Tre sorta d' oscillazioni nell' oceano — Le Maree semidiurne — Marea equinoziale — Effetti della declinazione del sole e della luna — La teoria è insufficiente senza la osservazione — Direzione dell' onde della marea — Altezza delle maree — Massa della luna ottenuta dall' azione di lei sulla marea — Interferenza delle ondulazioni — Impossibilità di una inondazione universale — Correnti.

Uno degli effetti più immediati e notevoli della forza di gravitazione esteriore alla terra è l' innalzarsi e l' abbassarsi alternativo della superficie del mare due volte nel corso d' un giorno lunare o di $24^{or}\ 50^{m}.28^{s}$ del tempo medio solare. Siccome questo dipende dall' azione del sole e della luna, egli è posto tra i problemi astronomici, dei quali è il più difficile e la sua spiegazione la meno soddisfacente. La forma della superficie dell' oceano in equilibrio allora che si rivolge con la terra intorno al suo asse è un' elissoide depressa ai poli; ma l' azione del sole e della luna, di questa specialmente, disturba l' equilibrio dell' oceano. Se la luna attraesse il centro di gravità della terra e tutte le sue particelle con forze eguali e parallele, l' intero sistema della terra e delle acque che la coprono, cederebbero a queste forze con moto comune, e l' equilibrio del mare non sarebbe disturbato. La differenza delle forze e la disuguaglianza delle loro direzioni solo disturbano l' equilibrio.

Le particelle dell' acqua poste immediatamente sotto la luna sono più attratte che il centro di gravità della terra, in ragione inversa del quadrato della distanza. Quindi esse hanno una tendenza a lasciare la terra, ma sono ritenute per la loro gravitazione, ch' è diminuita da questa tendenza. Al contrario la luna attrae il centro della

terra più potentemente ch' essa attragga le particelle dell' acqua nell' emisfero opposto a sè; così che la terra tende a lasciare le acque, ma è ritenuta dalla gravitazione, la quale di nuovo è diminuita da questa tendenza. Così le acque immediatamente sotto la luna sono attratte lungi dalla terra, al tempo stesso che la terra è tirata da quelle che sono diametralmente opposte a lei, in ambo i casi producendo un' elevazione dell' oceano di quasi la stessa altezza sopra la superficie di equilibrio; perocchè la diminuzione della gravitazione delle particelle in ogni posizione è quasi la stessa a cagione della distanza della luna, che è grande in paragone del raggio terrestre. Se la terra fosse interamente coperta dal mare le acque così attratte dalla luna assumerebbero la forma di una sferoide oblunga, il cui asse maggiore sarebbe rivolto verso la luna; e poichè la colonna d' acqua sotto la luna, e nella direzione diametralmente opposta a lei, è resa più leggiera a motivo della diminuzione della sua gravitazione per conservare l' equilibrio, gli assi di 90° distanti sarebbero abbreviati. La elevazione, rispetto lo spazio minore a cui è confinato, è due volte così grande quanto la depressione, a motivo che il contenuto della sferoide sempre rimane lo stesso. Se le acque fossero capaci di assumere l' equilibrio istantaneamente, cioè la forma della sferoide, la sommità di esse sarebbe sempre rivolta alla luna, ad onta della rotazione della terra. Ma a motivo della loro resistenza, il movimento rapido prodotto in esse per la rotazione le trattiene dal prendere ad ogni istante la forma che l' equilibrio delle forze agenti su di esse richiederebbe. Quindi per l' inerzia delle acque, se la marea è considerata relativamente a tutta la terra ed all'aperto mare, vi è un meridiano circa 30° all'est della luna, dove vi è sempre alta marea tanto nell' emisfero dove è la luna che nell' opposto. All'ovest di questo cerchio, la marea è crescente, all' est è decre-

scente, ed in ogni parte del meridiano a 90° di distanza l'acqua è bassa. Questa grande onda la quale segue tutti i movimenti della luna per quanto la rotazione della terra glielo permette, è modificata dall'azione del sole, gli effetti della cui attrazione sono sott'ogni rispetto simili a quelli prodotti dalla luna, sebbene molto minori in forza. Conseguentemente un'onda simile, ma molto più piccola, innalzata per effetto del sole, tende a seguire i suoi movimenti, che alle volte combina coll'onda lunare, ed in altre si oppone, secondo le relative posizioni dei due astri: se non che, siccome la ondulazione lunare è soltanto modificata un poco dalla solare, la marea deve necessariamente accadere due volte in un giorno; poichè la rotazione della terra porta lo stesso punto due volte sotto il meridiano della luna durante quel tempo: una, sotto il meridiano superiore; ed un'altra, sotto l'inferiore.

I movimenti periodici delle acque dell'oceano nell'ipotesi di un'ellissoide di rivoluzione, totalmente coperta dal mare, sono però lontanissimi dall'accordarsi coll'osservazione. Questo deriva dalle grandi irregolarità nella superficie della terra, la quale è solo parzialmente coperta dal mare, dalla varietà nelle profondità dell'oceano, dalla maniera nella quale è disperso per la terra, dalla posizione e inclinazione delle spiagge, dalle correnti e dalla resistenza che le acque incontrano; cause impossibili a valutarsi generalmente, ma che modificano le oscillazioni della gran massa dell'oceano. Ciò non ostante in mezzo a tutte queste irregolarità, il crescere, l'abbassare della marea mantiene una ragione alle forze che la producono sufficiente ad indicare la sua natura, ed avverare la legge d'attrazione del sole e della luna sul mare. La Place osserva che l'investigazione di simili relazioni tra causa e effetto è non meno utile nella filosofia naturale che la diretta soluzione dei problemi, tanto a provare l'esistenza delle cause che a tracciare le

leggi dei loro effetti. Simile alla teoria delle probabilità, essa è un utile supplemento alla ignoranza e alla debolezza della mente umana.

Poichè l'azione perturbatrice del sole e della luna può solo diventare sensibile in una grande estensione d'acqua profonda, l'Oceano Antartico è l'origine e il luogo d'origine della nostra marea. Una successione di onde di marea da questa sorgente ne segue un' altra in una direzione nord-ovest lungo gli oceani Pacifico ed Atlantico, modificate, a misura ch'esse procedono, dalla profondità dell'acqua e dalla figura delle coste. Perocchè quando il sole e la luna sono nello stesso meridiano, e passano oltre la massa dell'acque che giacciono all'est di Van Diemen, New Zealand, e il polo australe, la risultante forza della loro attrazione combinata, penetrando gli abissi del profondo ed interminabile circuito dell'oceano meridionale innalza una immensa onda o rialzo d'acqua che tende a seguire gli astri al nord ed all'ovest, e continua a scorrere in quella direzione lungamente, dopo che i corpi cessano di agire sopra di essa: se non che è ritardata dalla rotazione della terra e dall'inerzia dell'acqua, così che non arriva alle differenti parti delle coste sempre dopo che la luna è al meridiano (N. 156). Quando l'onda di marea lascia l'Oceano Antartico ed entra nel Pacifico, si lancia lungo le coste occidentali dell'America alla sua più lontana punta, ma è così ostrutta dal numero d'isole nel mezzo di quell'oceano, che essa è appena percettibile tra esse, mentre all'est entra nell'oceano Indiano, batte con violenza sulle coste dell'Indostan e i lidi alle bocche del Gange, ed è cagione della terribile apertura nell'Hoogly. La parte di questa onda che penetra nell'Atlantico, passa impetuosamente lungo le coste dell'Affrica e dell'America, arrivando sempre più e più tardi in ogni luogo. Essa è modificata tuttavia dalla marea nata nell'Atlantico, il quale è profondo e libero da isole, e questa onda combinata,

continuando verso il nord, versa i suoi flutti nel golfo di Fundy innalzandosi fino all'altezza di 50 piedi; quindi essendo piegata dalle coste d'America ad angolo retto, scorre verso l'est, portando il maroso alle coste occidentali dell'Irlanda e dell'Inghilterra. Gira intorno la Scozia, porta la marea ad Aberdeen e alle coste di contro della Norvegia e della Danimarca, e continuando il suo corso al sud arriva alla bocca del Tamigi e riempie i canali di questo fiume sul mattino del terzo giorno dopo che ebbe lasciato l'Oceano Antartico.

Così le maree nei nostri porti si devono ad un impulso delle acque del mare Antartico, eccitato dall'azione del sole e della luna. Non vi è dubbio che un'azione simile eccita quella marea nell'oceano polare nordico, la quale il dottore Kane vide girare nelle coste nordiche della Greenland al 82° lat. N.; ma che nel presente stato del globo, è imprigionata da sbarre di ghiaccio e da terre circondate da ghiaccio.

L'onda della marea s'estende al fondo dell'oceano e si muove uniformemente e con grande speditezza in acque profondissime, variabilmente e lentamente nell'acque basse; il tempo con cui si propaga dipende dalla profondità del mare, come dalla natura e forma delle sponde. Essa varia in ragione inversa dei quadrati della profondità: legge che teoricamente somministra i mezzi di assicurarsi della profondità proporzionata del mare nelle differenti parti. È dessa una delle grandi costanti della natura, ed è per i fluidi ciò che il pendolo è per i solidi: anello di connessione tra il tempo e la forza.

Per esempio, l'onda della marea attraversa l'oceano australe con la velocità di 1000 miglia all'ora, e nell'Atlantico è appena minore per la profondità nella quale corre entro il centro di quell'oceano; ma il mare è così basso sulle coste britanniche, che essa mette più tempo a venire da Aberdeen a Londra che passare un arco di 120° tra 60° lat. S. e 60° lat. N.

Nell' acqua profonda l' onda della marea è puramente un innalzarsi ed abbassarsi della superficie; l' acqua non si avanza, benchè l' onda si avanzi. Di fatti, se un corpo del peso dell' acqua si muovesse in ragione di 1000 miglia all' ora, cagionerebbe una generale distruzione, poichè nei più orribili uragani la velocità del vento è poco più di 100 miglia all' ora. Oltrechè è cosa evidente che nessun bastimento nè a vela nè a vapore potrebbe navigare contro di esso. Quando l' acqua è bassa, nondimeno, vi è movimento di traslazione nell' acqua insieme colla marea.

Nel profondo oceano il movimento di ondulazione consiste di due cose distinte: una forma che s' avanza, ed un movimento molecolare. Il movimento di ciascuna particella d' acqua è in una ellissi che giace interamente nel piano verticale; così che dopo il momentaneo spostamento durante il passaggio dell' ondulazione, le particelle ritornano di nuovo al loro posto. La resistenza del letto marino è insensibile nell' acqua profonda; ma quando l' onda della marea, che si estende fino al vero fondo dell' oceano, arriva in acqua bassa con diminuita velocità, le particelle dell' acqua, che si muovono in ellissi verticali, battono il fondo, e per la reazione l' ondulazione si innalza; e questo essendo continuamente ripetuto, come la forma si muove, l' ondulazione s' alza sempre più, pende sempre maggiormente in avanti, sinchè all'ultimo essa perde il suo equilibrio, e allora e forma e acqua ruina al lido, e le traiettorie ellittiche delle particelle, che nell' acqua profonda erano verticali, inclinano più e più, sino che alla lunga esse diventano orizzontali. La distanza dal lido, verso il quale l' acqua comincia ad essere trasportata, dipende dalla profondità, dalla natura della costa e dalla forma del lido. Scott Russell ha dimostrato che nell' acqua bassa la velocità dell'onda è eguale a quella che un corpo pesante che cade liberamente per la sua gravità, acquisterebbe discendendo a traverso la media profondità del fluido.

È dimostrato dalla esperienza giornaliera, come dallo stretto ragionamento matematico, che se un certo numero di onde od oscillazioni sia eccitato in un fluido da differenti forze, ciascuna di esse compie il suo corso ed ha il suo effetto indipendentemente dal resto. Ora nella marea vi sono tre specie di oscillazioni dipendenti da diverse cause, e che producono i loro effetti indipendentemente l'una dall'altra, e possono essere apprezzate separatamente. Le oscillazioni della prima sorta, che sono piccolissime, sono indipendenti dalla rotazione della terra, e siccome dipendono dal moto del corpo perturbatore nella sua orbita, sono di lunghi periodi. La seconda sorte d'oscillazioni dipende dalla rotazione della terra; perciò il loro periodo è presso a poco d'un giorno. Le oscillazioni della terza sorta variano con un angolo eguale a due volte la rotazione angolare della terra, e conseguentemente accadono due volte in 24 ore (N. 157). Le prime non offrono interesse particolare, e sono estremamente piccole: ma la differenza di due maree consecutive dipende dalle seconde. Al tempo dei solstizi questa differenza, che dovrebbe essere grandissima secondo la teoria di Newton, è appena sensibile sulle nostre spiagge. La Place ha mostrato che questa discrepanza nasce dalla profondità del mare, e che se la profondità fosse uniforme, non vi sarebbe differenza nelle consecutive maree se non di quella prodotta da circostanze locali. Ne segue, che siccome questa differenza è estremamente piccola, il mare considerato in una larga estensione deve essere quasi di uniforme profondità, cioè che vi è una certa profondità media, la deviazione dalla quale non è grande. La profondità media dell'Oceano Pacifico si suppone sia di circa quattro o cinque miglia; quella dell'Atlantico solo tre o quattro, il che per altro non è che mera congettura. Forse la grande estensione e la profondità uniformemente piccola dell'Atlantico sopra la piatta-forma telegrafica può impedire che la differenza

delle oscillazioni in discorso sia percettibile sulle nostre spiagge. Dalle formole che determinano la differenza delle maree consecutive vien provato che la precessione degli equinozi e la nutazione dell'asse terrestre, sono le stesse come se il mare formasse una massa solida con la terra.

Le oscillazioni della terza sorta sono le maree semidiurne, tanto notabili sulle nostre coste. In questo, due fenomeni sono particolarmente da distinguersi; l'uno accade due volte al mese, l'altro due volte al giorno.

Il primo fenomeno è che le maree sono molto aumentate nei sizigiy, o al tempo della nuova e piena luna (N. 158). In ambi i casi il sole e la luna sono nel medesimo meridiano: perchè quando la luna è nuova, essi sono in congiunzione; quando è piena, sono in opposizione. In ognuna di queste posizioni, la loro azione è combinata a produrre la marea più alta sotto quel meridiano, e la più bassa in que' punti che sono distanti 90°. Si è osservato che più alto s'innalza il mare nella marea piena, più basso esso è nel riflusso. La marea bassa ha luogo, quando la luna è nelle quadrature; essa non ascende tanto alto nè tanto s'abbassa come l'alta marea. È evidente che la marea alta deve accadere due volte al mese; poichè in quel tempo la luna, una volta è nuova, e un'altra è piena.

La teoria prova che ogni parziale marea cresce come il cubo della parallasse o dell'apparente diametro del corpo che la produce, perchè quanto più grande è il diametro apparente, tanto più è vicino il corpo, e tanto più intensa è la sua azione sul mare; quindi le maree alte sono molto aumentate quando la luna è nel perigeo, perchè allora essa è più vicina alla terra.

Il secondo fenomeno nelle maree è l'aumento che occorre al tempo degli equinozi, quando la declinazione del sole è zero (N. 159), il che accade due volte all'anno.

Le maree di primavera che hanno luogo in quel tempo, spesso sono molto accresciute dai venti equinoziali, e nell'ipotesi che tutta la terra sia coperta dall'oceano, sarebbero le più grandi possibili, se la linea dei nodi della luna coincidesse con quella del suo perigeo, perchè allora l'azione intera degli astri sarebbe nel piano dell'equatore. Ma essendo l'Oceano Antartico la sorgente delle maree, egli è evidente che la marea alta deve essere al massimo quando la luna è nel perigeo, e quando tutti e due gli astri hanno la loro più alta declinazione meridionale; perchè allora essi agiscono direttamente sopra il gran circuito dei mari polari australi.

Il sole e la luna compiono continuamente il loro giro dei cieli a differenti distanze dal piano dell'equatore a motivo dell'obliquità dell'eclittica e della inclinazione dell'orbita lunare. La luna mette circa 29 giorni e mezzo a variare per tutte le sue declinazioni, che qualche volta si estendono sino a 28° $\frac{3}{4}$ dall'uno e l'altro lato dell'equatore, mentre il sole richiede approssimativamente 365 giorni e mezzo a compiere i suoi movimenti a traverso 23° $\frac{1}{2}$ sopra ciascun lato dello stesso piano, così che il moto loro combinato cagiona grandi irregolarità. L'altezza e il tempo dell'acqua alta in questo modo cangiano continuamente, e quantunque il problema non ammetta una generale soluzione, è necessario di analizzare i fenomeni che dovrebbero nascere dall'attrazione del sole e della luna; ma il risultato può esser corretto in ciascun caso particolare da circostanze locali, così che la teoria delle maree in ciascun porto diventa realmente oggetto di esperimento, e soltanto può esser determinata, mediante un gran numero di osservazioni, compresovi molte rivoluzioni dei nodi della luna.

L'altezza media delle maree sarà aumentata d'una piccolissima quantità per i tempi avvenire in conseguenza della diminuzione nella media distanza della luna dalla terra. L'effetto contrario avrà luogo dopo che questo

periodo sarà passato, e la media distanza della luna cominci a crescer di nuovo, ciò che continuerà a fare per molti secoli. Così la media distanza della luna, e il conseguente piccolo aumento nell' altezza della marea oscillerà tra limiti fissi per sempre.

L' altezza alla quale le maree s' innalzano è molto maggiore nei canali che nell' aperto mare a motivo delle ostruzioni a cui vanno incontro. Il mare è così rinserrato nel canale d' Inghilterra, che le maree qualche volta arrivano sino a 50 piedi in S. Malo sulla costa di Francia, mentre sulle spiagge di alcune isole del mare del sud, vicino al centro del Pacifico, esse non eccedono uno o due piedi. I venti hanno un grande potere sull' altezza delle maree, secondo che spirano a favore o s' oppongono. Ma l' effetto reale del vento nell' eccitare le onde dell' oceano s' estende pochissimo sotto la superficie. Anche nelle burrasche le più violente, l' acqua è probabilmente calma alla profondità di 90 o 100 piedi. La grande marea oceanica non arriva al Mediterraneo, nè al Baltico, parte per la loro posizione e parte per l' angustia dello stretto di Gibilterra e del Categat, ma è molto percettibile nel Mar Rosso e nella Baia di Hudson. Nelle alte latitudini dove l' oceano è meno direttamente sotto l' influenza della luna e del sole, l' elevazione e la caduta del mare è insignificante, così che secondo ogni probabilità, non vi è marea ai poli, o solo una marea piccola annuale e mensile. Il flusso e riflusso del mare sono percettibili nei fiumi ad una grande distanza dai loro estuari. Negli Stretti di Pauxis, nel Rio delle Amazzoni, la marea è evidente a più di 500 miglia lontano dal mare. Si richiedono tanti giorni alla marea per ascendere questo gran fiume, che il riflusso incontra successivamente le onde ascendenti, così che avviene ogni possibile varietà in una parte o nell' altra delle sue spiagge sì per la grandezza che per il tempo. Vi vuole una estensione d' acqua veramente ampia per accumulare

l' impulso del sole e della luna talmente da rendere sensibile la loro influenza: per questo motivo le maree nel Mediterraneo e nel Mar Nero sono appena sensibili.

Queste perpetue commozioni nelle acque sono prodotte da forze che portano una piccolissima proporzione alla terrestre gravità. L' azione del sole nel sollevare l' oceano è soltanto $\frac{1}{38,448,000}$ di gravitazione alla superficie della terra, e l' azione della luna è poco più che due volte tanto: queste forze essendo in ragione di 1 a 2·35333 allora che il sole e la luna sono nella loro media distanza dalla terra. Per questo rapporto la massa della luna si ritrova solo essere $\frac{1}{75}$ parte di quella della terra. Se l' azione del sole sull' oceano fosse esattamente eguale a quella della luna, non vi sarebbe marea bassa, e la marea alta avrebbe due volte l' altezza che l' azione del sole e la luna producono separatamente: fenomeno dipendente dall' interferenza delle onde.

Una pietra gittata in una palude di acqua tranquilla cagiona una serie di oscillazioni che si avanzano sopra la superficie, sebbene l' acqua stessa non sia portata in avanti, ma solo si eleva e si abbassa nelle increspature, ogni porzione della superficie essendo alzata e depressa alla sua volta. Un' altra pietra della stessa grandezza gittata nell' acqua vicino alla prima, cagionerà un seguito simile di ondulazioni. Allora se un' ondulazione eguale e simile di ciascuna delle pietre, arriva allo stesso luogo al tempo stesso, così che l' elevazione dell' una esattamente coincida coll' elevazione dell' altra, il loro effetto unito produrrà un' onda di misura doppia dell' una o dell' altra. Ma se una ondulazione precede l' altra della metà esatta d' un' ondulazione, l' elevazione dell' una coinciderà con l' abbassamento dell' altra e l' abbassamento dell' una con l' elevazione dell' altra, e le ondulazioni così interamente obbliterannosi l' un l' altra, in modo che la superficie dell' acqua rimarrà piana e livellata. Quindi se la lunghezza d' ogni ondulazione sia

rappresentata da 1, si distruggeranno l' un l' altra a intervalli di $\frac{1}{2}$ $\frac{3}{2}$ $\frac{5}{2}$, e combineranno i loro effetti a intervalli 1, 2, 3, ec. Si ritroverà conformemente a questo principio, che quando l' acqua tranquilla è disturbata per la caduta di due pietre eguali, vi sono certe linee sulla sua superficie d' una forma iperbolica dove l' acqua è piana in conseguenza delle onde che si obbliteranno a vicenda; e che l' elevazione dell' acqua nelle parti adiacenti corrisponde alle due onde unite (N. 160). Ora, nelle maree alte e basse che derivano dalla combinazione di ondulazioni semplici sublunari, la marea alta è il risultato della combinazione quando esse coincidono in tempo e luogo; e la bassa marea accade quando esse succedono l' una l' altra per un mezzo intervallo da lasciare sensibile solo l' effetto della loro differenza. Egli è per questo evidente che se la marea solare e lunare fossero della stessa altezza non vi sarebbe differenza, conseguentemente non marea bassa, e la marea alta sarebbe due volte così alta come o l' una o l' altra separatamente. Nel porto di Batsha, in Tonquin, dove la marea arriva per due canali di lunghezza corrispondente a un mezzo intervallo, non vi è acqua nè bassa nè alta a motivo dell' interferenza delle onde.

Lo stato iniziale dell' oceano non ha influenza sulla marea; perchè qualunque possano essere state le sue primitive condizioni, esse devono subito svanire per l' attrito e la mobilità del fluido. Una delle più notabili circostanze nella teoria delle maree è la sicurezza che, in conseguenza della densità del mare, ch' è solo un quinto della media densità della terra, e la terra stessa crescendo di densità verso il centro, la stabilità dell' equilibrio dell' oceano non possa mai essere sovvertita da alcuna fisica cagione. Una generale inondazione che derivi dalla mera instabilità dell' oceano è per questo impossibile. Una varietà di circostanze nondimeno tende a produrre parziali variazioni nell' equi-

librio dei mari, il quale è ristabilito per mezzo delle correnti. I venti e il periodico sciogliersi del ghiaccio ai poli cagionano temporarii corsi d'acque, ma le cause più importanti sono la forza centrifuga indotta per la velocità della rotazione terrestre, e le variazioni nella densità del mare.

La forza centrifuga può essere risoluta in due forze: una perpendicolare, ed un' altra tangente alla superficie della terra (N. 161). La forza tangenziale, sebbene piccola, è sufficiente a fare che le particelle fluide nei circoli polari tendano all' equatore, e la tendenza è di molto accresciuta dall' immensa evaporazione nelle regioni equatoriali pel calore del sole che disturba l' equilibrio dell' oceano. A questo vi può essere aggiunta la densità superiore delle acque vicino ai poli, a motivo della loro bassa temperatura. In conseguenza della combinazione di tutte queste circostanze, due grandi correnti perpetuamente partono da ogni polo verso l' equatore. Ma siccome vengono da latitudini, dove il moto rotatorio della superficie terrestre è assai minore di quello che sia tra i tropici, a motivo della loro inerzia, le dette correnti non acquistano immediatamente la velocità con la quale la parte solida della superficie terrestre si rivolge alle regioni equatoriali; dal che ne segue che nella distanza di 25° o 30° ad ogni lato dall' equatore, l' oceano ha un moto generale dall' oriente all' occidente che è molto aumentato per l' azione dei venti alisei. Nel Pacifico e nell'Atlantico correnti di straordinaria ampiezza sono deviate dai continenti e dalle isole al nord ed al sud da questa imponente massa di acque irrompenti, le quali trasmettono il caldo dell' equatore onde temperare la severità delle regioni polari, mentre che, a mantenere l' equilibrio dei mari, dagli oceani polari si movono controcorrenti di acqua fredda che si mescolano coll' acque calde alla linea; dimodochè è mantenuta una circolazione perpetua.

Montagne di ghiaccio qualche volta galleggiano dal polo nord sino alle Azzorre, e dal polo meridionale sono anche arrivate al Capo di Buona Speranza. Ma il ghiaccio che accerchia il polo meridionale si estende a latitudini più basse di 10° di quello che attorno il polo nord. In conseguenza della corrente polare, Parry fu obbligato ad abbandonare la sua impresa di arrivare al polo nord nel 1827, a motivo dei campi di ghiaccio che galleggiarono al sud più presto che la spedizione potesse trapassarli al nord.

Kotzebue e Sir James Ross trovarono uno strato di costante temperatura nell'oceano ad una profondità dipendente dalla latitudine: all'equatore egli è alla profondità di 7,200 piedi, da dove gradatamente s'eleva sin che arriva alla superficie in ambedue gli emisferi circa la latitudine di 56° 26′, dove l'acqua ha la stessa temperatura a tutte le profondità: quindi il detto strato discende a 4,500 piedi sotto la superficie, circa al 70mo parallelo in ambi i mari Artico ed Antartico. La temperatura di questa zona acquosa è circa 39°·5 di Fahrenheit.[1] Questo divide la superficie dell'oceano in cinque grandi zone di temperatura, cioè una regione media nella quale la media temperatura è 82° Fahr. due zone temperate ciascuna di 39° 5 Fahr., e due bacini polari al punto di congelazione dell'acqua salata.

1 Vedi il capitolo delle Maree e le Correnti nella *Geografia fisica* dell'autrice, seconda edizione italiana, fatta sulla quarta edizione inglese.

SEZIONE XIV.

Forze molecolari — Permanenza degli ultimi atomi della materia — Interstizi — Teoria di Mossotti — Teoria dei vortici molecolari di Rankin — Gas ridotti allo stato liquido per mezzo della pressione — Gravitazione degli atomi — Coesione — Cristallizzazione — Clivaggio — Isomorfismo — Minutezza degli atomi — Altezza dell'atmosfera — Affinità chimica — Proporzioni definite e relativi pesi degli atomi — Scoperte di Faraday rispetto all'affinità — Attrazione capillare.

Le oscillazioni dell'atmosfera e la sua azione sopra i raggi luminosi che vengono dai corpi celesti, connettono la scienza dell'astronomia coll'equilibrio e con i movimenti dei fluidi e con le leggi dell'attrazione molecolare. Fino a qui abbiamo considerata quella forza che agisce sopra le masse di materia a sensibile distanza, ma ora sono da considerarsi gli effetti di quelle forze che agiscono a distanze inapprezzabili sopra gli ultimi atomi dei corpi materiali.

Tutte le sostanze si compongono di un insieme di particelle materiali o molecole che sono troppo piccole per essere visibili con mezzo alcuno che l'ingegno umano sia stato finora abile di ritrovare, e che sono molto al di là dei limiti delle nostre percezioni. Esse non possono essere nè prodotte nè distrutte: i corpi possono essere abbruciati, ma le loro particelle non sono consumate: esse sono solo liberate da una combinazione per entrare in un'altra; le loro peculiari proprietà non sono mai cangiate; in qualunque combinazione possano entrare a far parte, esse sono sempre e invariabilmente le stesse.

Poichè ogni sostanza nota può essere ridotta di volume colla compressione, ne segue che le particelle della materia non sono in reale contatto, ma separate da interstizi, ed è evidente che quanto più piccoli sono gli spazi interstiziali, maggiore è la densità. Questi spazi appari-

scono, in alcuni casi, riempiti d'aria, come si può dedurre da certi minerali semi-opachi e da altre sostanze che diventano trasparenti, immerse che sieno nell'acqua. Qualche volta possono probabilmente contenere fluidi incogniti e sommamente elastici, come Brewster ha scoperto nelle piccole cavità di vari minerali, il che qualche volta produce che queste sostanze esplodano con violenza sotto i colpi del lapidario; ma siccome è inconcepibile che le particelle della materia agiscano l'una sopra l'altra senza qualche mezzo di comunicazione, vi è ogni ragione per credere che gl'interstizi delle sostanze materiali contengano una porzione di quel fluido sottile etereo ed elastico, del quale sono riempite le regioni dello spazio.

Le varie ipotesi che sonosi formate sulla natura ed azione delle forze, che uniscono le particelle della materia, sono state abbandonate successivamente come scienza abortita; ed ora nulla di decisivo si è ottenuto, sebbene il professor Mossotti di Pisa, con un'abilissima analisi abbia cercato di provare l'identità della forza coesiva colla gravitazione. Siccome le particelle dei corpi materiali non sono in reale contatto, Mossotti suppone che ciascuna sia circondata da un'atmosfera di fluido etereo da lui supposto essere l'elettrico, che gli atomi del fluido si respingano l'un l'altro, che le molecole della materia si respingano l'una l'altra ma con minore intensità, e che vi sia una mutua attrazione tra le particelle della materia e gli atomi del fluido: forze che variano inversamente come il quadrato della distanza.

Quando le molecole materiali d'un corpo sono inapprezzabilmente vicine l'una l'altra, esse mutuamente si respingono con una forza che diminuisce rapidamente a mano a mano che l'infinitesima piccola distanza tra le molecole materiali aumenta, e all'ultimo svanisce. Quando le molecole sono ancora più da lontano, la forza diventa attrattiva. In quel punto particolare dove ha luogo il can-

giamento, le forze di attrazione e di ripulsione bilanciansi a vicenda, così che le molecole d'un corpo non sono disposte nè ad accostarsi nè ad allontanarsi, ma rimangono in equilibrio. Se noi tentiamo di stringerle più da vicino, la forza ripulsiva resiste alla pressione; se noi cerchiamo di spezzare il corpo e separarne le particelle, la forza attrattiva predomina, e le tiene congiunte. Questo è ciò che costituisce la forza coesiva o forza d'aggregazione, per cui le molecole d'ogni sostanza sono unite insieme. I limiti della distanza ai quali l'azione negativa diviene positiva, variano secondo la temperatura e la natura delle molecole, e determinano se il corpo ch'esse formano sia solido, liquido o aeriforme.

Al di là di questo punto neutrale la forza attrattiva cresce a misura che la distanza tra le molecole aumenta, sino a che essa arriva al massimo; quando le particelle sono separate di più, la detta forza diminuisce; e, appena esse sono separate da una distanza definita o sensibile, la forza varia in ragione diretta della massa, ed inversamente come il quadrato della distanza, il che è precisamente la legge della gravitazione universale.

Così nella ipotesi che la mutua ripulsione tra gli atomi elettrici sia un po' più potente che la mutua ripulsione fra le particelle materiali, l'etere e la materia attraggonsi vicendevolmente con intensità disuguali, il che lascia un eccesso di forza attrattiva che costituisce la gravitazione. Siccome la forza di gravitazione agisce dovunque vi è materia, il fluido etereo elettrico deve circondare tutti i corpi nell'universo, e siccome è del tutto incomprensibile che i corpi celesti esercitino un'attrazione reciproca nel vuoto, il Mossotti conclude che il mezzo etereo elettrico riempie ogni spazio.

Vero è che la connessione tra le forze molecolari e la gravitazione riposa sopra una ipotesi: ma nella maggior parte delle fisiche investigazioni qualche ipotesi è necessaria nella prima ricerca ad aiutare l'imperfezione

dei nostri sensi. E quando i fenomeni della natura s'accordano coll'ipotesi, siamo giustificati per crederla una legge generale.

La teoria di Rankin dei vortici molecolari, o della struttura molecolare della materia, è indipendente dall'elettricità. Secondo questa ipotesi ogni atomo di materia consiste d'un nucleo inapprezzabilmente piccolo, incluso in una elastica atmosfera eterea ch'è ritenuta nella sua posizione da forze attrattive dirette verso la molecola, mentre le molecole si attraggono l'un'l'altra nella direzione di linee rette che uniscono i loro centri. I nuclei possono essere solidi, o un'alta condensazione delle atmosfere che circondano ciascun nucleo con decrescente densità. Quando l'attrazione tra le molecole è tale, che l'elasticità delle atmosfere è insensibile, il corpo è un solido perfetto, la durezza del quale porta una certa definita proporzione all'elasticità del volume. Quando le atmosfere sono meno condensate e l'attrazione delle molecole solamente produce una forza coesiva sufficiente a bilanciare l'elasticità atomica dell'atmosfera, il corpo è un perfetto liquido, e quando l'attrazione delle molecole è piccolissima paragonata con l'elasticità delle loro eteree atmosfere, il corpo è un perfetto gas. Si suppone che queste atmosfere sieno porzioni del fluido etereo, che penetra negli interstizi di ogni sostanza, e che la loro elasticità si debba al calore generato dalla forza centrifuga, ossia dalle oscillazioni tra i loro atomi, poichè il moto è cagione del calore, la forza producente i moti variando semplicemente come la densità dell'etere.

Nei fluidi aereiformi le particelle della materia sono più lontane l'una dall'altra che nei liquidi e nei solidi, ma la pressione può essere così grande da ridurre un fluido aereiforme a liquido, e un liquido a solido. Faraday ha ridotto alcuni gas allo stato liquido per mezzo di grandissima compressione; ma sebbene l'aria atmosfe-

rica sia capace di una diminuzione di volume di cui non conosciamo i limiti, sino a qui essa ha sempre ritenuto le sue proprietà di gas, e riassume il suo primitivo volume, appena rimossa la compressione.

Le sostanze sono dette più o meno elastiche, secondo la facilità colla quale esse riguadagnano il loro volume allorchè la pressione è tolta : così i liquidi resistono alla compressione per ragione della loro elasticità, e nei solidi la resistenza è molto maggiore, ma variabile, e lo sforzo per rompere una sostanza è una misura della forza coesiva delle particelle.

Nella pietra, nel ferro, nell' acciaio e negli altri corpi fragili e duri, la coesione delle particelle è potente, ma di piccola estensione : nelle sostanze elastiche, al contrario, la sua azione è debole ma più estesa. Un' infinita varietà di condizioni può osservarsi nella fusione dei metalli e di altre sostanze che passano dalla durezza alla mollezza, alla vischiosità, e tra tutti gli altri passaggi alla vera fluidità ed anche allo stato aeriforme. Poichè tutti i corpi si dilatano pel calorico, la forza di coesione è indebolita per l' aumento della temperatura. La coesione della materia o la forza delle sostanze forma un importante ramo dello studio della meccanica.

Ogni particella di materia, formi essa parte costituente d' un corpo solido o liquido od aeriforme, è soggetta alla legge della gravitazione. Il peso dell' atmosfera, dei gas e dei vapori mostra che essi compongonsi di particelle gravitanti. Nei liquidi la forza di coesione non è sufficientemente forte da resistere all' azione della gravitazione. Pertanto sebbene le loro particelle componenti mantengano sempre la loro connessione, il liquido è disperso per effetto del loro peso, a meno che non sia confinato in un vaso o sia già disceso alla parte più bassa possibile, ed abbia assunto un livello superficiale per la mobilità delle sue particelle e per l' influenza delle sue forze gravitanti, come nell' oceano o in un lago. I solidi

pure cadrebbero in pezzi per il peso delle loro particelle, se la forza di coesione non fosse abbastanza potente a resistere agli sforzi della gravitazione.

I fenonomi che derivano dalla forza di coesione sono innumerevoli. La forma sferica delle gocciole d'acqua, la difficoltà di staccare una lastra di vetro dalla superficie dell'acqua, la forza con la quale due superfici piane aderiscono quando sieno compresse insieme; le gocciole che pendono ai cristalli di finestra in uno scroscio di pioggia, sono tutti effetti della coesione indipendenti affatto dalla pressione atmosferica, e sono inchiusi nella stessa formola analitica (N. 162) che esprime tutte le circostanze accuratamente, sebbene le leggi secondo le quali le forze di coesione e di ripulsione variano, sieno incognite. Egli è più che probabile che la forma sferica del sole e dei pianeti sia dovuta alla forza di coesione; siccome quelli che hanno tutta l'apparenza di essere stati una volta in istato di fusione.

Un caso veramente notevole di coesione è stato qualche volta osservato nelle manifatture delle lastre di cristallo. Dopo che le larghe lastre di vetro delle quali si formano gli specchi, hanno ricevuto l'ultima loro pulitura, sono accuratamente asciugate e messe sui loro spigoli con le superfici che s'appoggiano l'une sopra le altre. Alcune volte la coesione è stata talvolta sì grande, ch'esse non si potevano separare senza rompersi. Vi sono stati dei casi dove due o tre lastre si sono così bene unite, che si è potuto tagliarle, e ripulire i loro spigoli come se fossero state fuse insieme; e la forza richiesta a fare scorrere le loro superfici fu così grande, che l'una squarciava porzione dell'altra.

Nei liquidi e nei gas le forme delle particelle non hanno alcuna influenza: esse sono troppo lontane; ma la struttura dei solidi varia secondo i lati che essi si presentano vicendevolmente durante la loro aggregazione. Nulla è noto della loro forma al di là della dissimiglianza dei

loro differenti lati in certi casi; il che si palesa dalle loro reciproche attrazioni durante la cristallizzazione, essendo più o meno forti secondo i lati che presentano l' une alle altre. La cristallizzazione è un effetto della attrazione molecolare regolata per certe leggi secondo le quali atomi della stessa specie di materia s' uniscono in forme regolari: fatto che facilmente si verifica disciogliendo un pezzo d' alume nell' acqua pura. La mutua attrazione delle particelle è distrutta dall' acqua; ma se questa è svaporata, esse si riuniscono e formano figure di otto lati chiamate ottaedri (N. 163). Queste figure però non sono tutte le stesse. Alcune hanno i loro angoli mozzati, altre i loro spigoli, ed alcune gli uni e gli altri, mentre il resto prende la forma regolare. È evidentissimo che le stesse circostanze che producono l' aggregazione di poche particelle cagionerebbero, se continuate, l' addizione di più altre, ed il processo continuerebbe sino a che una particella rimanesse libera attorno il primitivo nucleo, il quale crescerebbe in grandezza, ma rimarrebbe non cangiato di forma, essendo la figura delle particelle tale da mantenere la regolarità e l' appianamento delle superfici del solido e le loro mutue inclinazioni. Un cristallo spezzato riassumerà per gradi la sua regolare figura, quando sia posto di nuovo nella soluzione d' alume; il che dimostra che le particelle interne ed esterne sono simili, ed hanno un' attrazione simile per le particelle tenute in soluzione. Le condizioni originali di aggregazione che uniscono le molecole della stessa sostanza in forme differenti, devono essere numerose; poichè del solo carbonato di calce vi sono molte centinaia di varietà, ed è certo, per il moto della luce polarizzata a traverso il cristallo di rocca, che un aggruppamento differentissimo di particelle si richiede per produrre un piccolissimo cangiamento nella forma esteriore. Una quantità di sostanze nel cristallizzare, chimicamente si combinano con una certa quantità d' acqua, la quale in stato

solido forma parte essenziale del cristallo, e secondo l' esperienza di Haidinger e Mitscherlich sembra in qualche caso dare la speciale determinazione alle molecole costituenti il cristallo. I suddetti esperimentatori hanno osservato che la stessa sostanza cristallizzando a differenti temperature, si unisce con differenti quantità d' acqua, ed assume una corrispondente varietà di forme. Il seleniato di zinco p. e., si unisce con tre differenti quantità di acqua ed assume tre differenti forme, secondo che la sua temperatura nell' atto di cristallizzare è calda, tiepida o fredda. Il solfato di soda ancora, che cristallizza a 90° Fahrenheit senz' acqua di cristallizzazione, combinasi con l' acqua all' ordinaria temperatura, e prende una forma differente. Pare che il calorico abbia una grande influenza sui fenomeni della cristallizzazione, non solo quando le particelle della materia sono libere, ma anche quando sono congiunte fermamente, perchè esso scioglie la loro unione, e dà loro un' altra determinazione. Mitscherlich ritrovò che i cristalli prismatici di solfato di nichelio (N. 164), esposti ad un sole d' estate in un vaso chiuso, avevano la loro interna struttura così completamente alterata senza alcun cangiamento esterno, che rotti ed aperti si vedevano composti internamente di ottoedri con basi quadrate. L' originale aggregazione delle particelle interiori era stata sciolta, e loro data una disposizione ad ordinarsi in una forma cristallina. I cristalli di solfato di magnesia e di solfato di zinco gradatamente riscaldati nell' alcool sino a bollore, lasciano la loro trasparenza a gradi, ed aperti si ritrovano comporsi d' innumerevoli piccoli cristalli totalmente differenti dalla forma dei cristalli interi, ed i cristalli prismatici di zinco (N. 165) sono cangiati in pochi secondi in ottoedri pel calore del sole: altri esempi possono escere citati dell' influenza di gradi anche moderati di temperatura sulla molecolare attrazione nell' interno delle sostanze. Si deve osservare che questi esperimenti

somministrano vedute del tutto nuove rispetto la costituzione dei corpi solidi. Dalla mobilità dei fluidi noi siamo portati ad aspettarci grandi cangiamenti nelle relative posizioni delle loro molecole che devono essere in perpetuo moto anche nell' acqua la più tranquilla e nell' aria la più calma ; ma non eravamo preparati a ritrovare dei moti di una sì grande estensione nell' interiore dei solidi. Che le loro particelle siano portate più da vicino pel freddo e per la pressione, o rimosse più da lontano l' une dall' altre pel caldo, potevasi aspettare, ma non poteva essere preveduto che le loro relative posizioni fossero così completamente cangiate da alterare il loro modo d' aggregazione. Ne segue, che dalla bassa temperatura alla quale queste mutazioni avvengono, è probabile non vi sia porzione di materia inorganica che non si trovi in istato di relativo movimento.

Le scoperte di Mitscherlich, rispetto alle forme delle sostanze cristallizzate siccome connesse col loro carattere chimico hanno gittato una luce addizionale sulla costituzione de' corpi materiali. Vi è un certo ordine di forme cristalline che non sono suscettibili di variazioni, siccome il dado o cubo (N. 166), che può essere piccolo o grande, ma invariabilmente esso è un solido a sei facce quadrate. Tale è ancora il tetraedro (N. 167), o solido di quattro facce, contenuto da quattro triangoli equilateri. Altri solidi appartengono a questa classe che è chiamata il sistema *tessulare* di cristallizzazione. Vi sono altri cristalli che sebbene limitati dallo stesso numero di piani, e che hanno la stessa forma, sono capaci di variazione : per esempio la figura di otto facce con base quadrata, chiamata ottoedro (N. 168), che alcuna volta è ottusa e bassa, qualche volta, acuta ed alta. Fu da prima creduto che l' identità della forma in ogni cristallo non appartenente al sistema tessulare indicasse l' identità della chimica composizione. Mitscherlich nondimeno ha dimostrato che sostanze differenti

ad un certo grado nella chimica composizione hanno la proprietà di prendere la forma stessa cristallina. Per esempio, il fosfato neutro di soda e l'arseniato di soda cristallizzano in forma ugualissima, contengono la stessa quantità di acido, alcali ed acqua di cristallizzazione; differiscono per altro tanto, che uno contiene arsenico, e l'altro una quantità equivalente di fosforo. Le sostanze che hanno queste proprietà sono dette isomorfe, cioè eguali di forma. Di queste sonovi molti gruppi; ogni gruppo ha la stessa forma e somiglianza, sebbene non l'identità nella chimica composizione. Per esempio, uno dei gruppi isomorfi è quello che consiste di certe sostanze chimiche chiamate protossidi di ferro, rame, zinco, nichelio e manganese; le quali tutte hanno identica forma e contengono la stessa quantità d'ossigeno, ma ciascuna differisce nei rispettivi metalli che contiene, i quali sono, ciò non ostante, quasi nella stessa proporzione in ciascuno. Tutte queste circostanze tendono a provare che sostanze le quali hanno la stessa forma cristallina devono comporsi di atomi che hanno la stessa figura e disposti nell'ordine stesso, così che la forma dei cristalli è dipendente dalla loro atomica costituzione.

Tutti i corpi cristallizzati presentano delle giunture chiamate *clivaggi,* nelle quali si sfogliano più facilmente che in altre direzioni: tutta l'arte di tagliare i diamanti, dipende da questa proprietà. Ogni sostanza si fende in un modo e in una forma a lei particolare. Per esempio, tutte le centinaia di forme di carbonato di calce si fendono in figure di sei facce chiamate romboedri (N. 169), i cui angoli alternanti misurano 105°,55" e 75°,05° per quanto lungi possa essere portata la divisione: per questo l'ultima particella di carbonato di calce si presume abbia quella forma. In qualunque modo la cosa sia, è certo che tutti i vari cristalli di questo minerale possono formarsi mettendo insieme solidi di sei facce della forma descritta,come i fanciulli fabbricano case con picciolissimi

mattoni. Si potrebbe imaginare che una grande differenza esista tra le particelle d'una massa informe ed un cristallo della stessa sostanza, tra la comune pietra calcare senza figura, e il puro e limpido cristallo dello spato d'Islanda: eppure l'analisi chimica non ne scopre alcuna, gli atomi loro sono identici, e la cristallizzazione dimostra che la differenza deriva dal modo di aggregazione. In oltre tutte le sostanze o sono cristallizzate naturalmente, o possono essere ridotte a far ciò dall'arte. I liquidi si cristallizzano inghiacciando, i vapori colla sublimazione (N. 170), e i corpi duri quando sono stati fusi, raffreddandosi. Quindi si può concludere che tutte le sostanze sono composte di atomi, dalla grandezza, densità e forma dei quali dipendono la loro natura e le loro qualità; e siccome queste qualità sono incangiabili, le particelle ultime, gli atomi della materia devono essere inconsumabili: gli stessi ora, come quando furono creati.

La dimensione delle ultime particelle della materia deve essere piccolissima. Sonosi rinvenuti degli esseri organizzati che posseggono la vita e tutte le funzioni della vita, tanto piccoli, che un milione di essi occuperebbe minor spazio che un grano di sabbia. La malleabilità dell'oro, il profumo del muschio, l'odore dei fiori e molti altri esempi si possono citare della eccessiva minutezza degli atomi della materia. Supponendo che la densità dell'aria alla superficie della terra sia rappresentata dall'unità, John Herschel ha dimostrato che sotto qualunque ipotesi rispetto ai suoi atomi vi bisognerebbe una frazione che avesse almeno 1370 cifre nel suo denominatore per esprimere la sua piccolezza nello spazio intraplanetario. Certo le definite proporzioni dei composti chimici somministrano una prova che la materia non è divisibile all'infinito.

La forza di coesione, che è stata il soggetto delle precedenti considerazioni, congiunge solo le particelle della

stessa specie di materia, mentre l'affinità, che è la causa dei composti chimici, è la mutua attrazione tra le particelle di sorti differenti di materia, la quale generalmente produce un composto, che non ha sensibile proprietà in comune coi suoi componenti, dalla loro combinata gravità in fuori; come, p. e., l'acqua ch'è un composto dei gas ossigeno e idrogeno. È meramente un risultato dello stato elettrico delle particelle, la chimica affinità e l'elettricità essendo solo forme della stessa forza. Nella massima parte dei casi essa produce elettricità, come nell'ossidazione dei metalli e nella combustione, ed in ogni caso senza eccezione il calore è svolto dai corpi mentre combinansi chimicamente, e siccome il calore è una forza espansiva, la chimica azione è cangiata in meccanica espansione, se non che non è conosciuto in questo caso, perchè si produca calorico, nè la maniera con cui le particelle agiscono.

È una legge permanente ed universale in tutti i corpi inorganici, che la loro composizione è definita ed invariabile, l'istesso composto sempre consistendo degli stessi elementi uniti insieme nelle stesse proporzioni. Due sostanze possono in fatto essere mescolate, ma desse non si combineranno a formare una terza sostanza differente dalle due, a meno che le loro particelle componenti siano unite in proporzioni determinate, cioè una parte rispetto al peso d'una delle sostanze sarà unita con una parte rispetto al peso dell'altra o con due parti o tre o quattro ec., così da formare una nuova sostanza: ma in altre proporzioni le due sostanze saranno solo una meccanica mescolanza. Per esempio, una parte in peso di gas idrogeno si combinerà con otto parti in peso di gas ossigeno, e formerà l'acqua: o la stessa parte in peso di gas idrogeno si unirà con 16 parti in peso di ossigeno, e formerà una sostanza chiamata deutossido d'idrogeno: ma aggiunta a qualche altro peso di ossigeno, esso produrrà l'uno o l'altro di questi composti mescolati con la porzione d'ossigeno o d'idrogeno in eccesso. La leg-

ge delle proporzioni definite stabilita da Dalton sul principio che ogni corpo composto consiste d'una combinazione degli atomi delle sue parti componenti, è d'una universale applicazione; ed è infatti una delle più importanti scoperte delle scienze fisiche, siccome quella che somministra un'indicazione antecedentemente insperata a riguardo delle secretissime e minutissime operazioni della natura, palesando il relativo peso degli ultimi atomi materiali. Così un atomo d'ossigeno unendosi con un atomo d'idrogeno, forma il composto acqua; ma siccome ogni gocciola d'acqua, sebbene piccola, si compone di otto parti in peso d'ossigeno e d'una d'idrogeno egualmente rispetto al peso, ne segue che un atomo d'ossigeno è otto volte più pesante d'un atomo d'idrogeno. Nella stessa maniera il gas idrogeno solforato componesi di 16 parti in peso di solfo e d'una d'idrogeno; perciò un atomo di solfo è 16 volte più pesante che un atomo d'idrogeno. L'ossido carbonico ancora è costituito di sei parti in peso di carbonio e d'otto d'ossigeno; e siccome un atomo d'ossigeno ha otto volte il peso d'un atomo d'idrogeno, ne segue che un atomo di carbonio è sei volte più pesante che un atomo d'idrogeno. Poichè la stessa proporzione definita si ritrova nella composizione di tutte le sostanze che sono state analizzate, si può concludere che vi sono grandi differenze nei pesi delle ultime particelle materiali. Sebbene la legge di Dalton sia pienamente stabilita, nondimeno si sono incontrati dei casi, dai quali apparisce che la teoria atomica dedottane, non è sempre osservata. Gay-Lussac scoperse che i gas si univano insieme pei loro volumi in queste semplici e definite proporzioni: come 1 ad 1; 1 a 2; 1 a 3 ec.; per esempio un volume o misura d'ossigeno si unisce con due volumi o misure d'idrogeno nella formazione dell'acqua.

Faraday ha provato con esperimenti sui corpi in soluzione ed in fusione che la chimica affinità è puramente

un risultato dello stato elettrico delle particelle materiali. Ora si deve badare che la composizione dei corpi, come la loro decomposizione, può essere ottenuta col mezzo dell'elettricità; e Faraday ha ritrovato che questa chimica composizione e decomposizione per una data corrente d'elettricità è sempre eseguita secondo le leggi delle proporzioni definite, e che la quantità dell'elettricità richiesta per la decomposizione d'una sostanza è esattamente la quantità necessaria per la sua composizione. Così la quantità d'elettricità che può decomporre un grano in peso d'acqua è esattamente eguale alla quantità d'elettricità che unisce gli elementi di questo grano d'acqua insieme, ed è equivalente alla quantità d'elettricità atmosferica che è attiva in un forte temporale.

Questa legge è universale, e di quell'alto e generale ordine che caratterizza tutte le grandi scoperte. La forza chimica è potentissima. Una libbra del migliore carbon fossile somministra, quando è acceso, calore sufficiente ad elevare la temperatura di 8086 libbre d'acqua un grado centigrado, quindi il professore Helmholtz di Bonn ha calcolato che la grandezza della forza chimica dell'attrazione tra le particelle d'una libbra di carbon fossile e la quantità dell'ossigeno che gli corrisponde, è capace di alzare un peso di 100 libbre all'altezza di 20 miglia.

Faraday ha dato un singolare esempio della forza di coesione che induce una chimica combinazione nell'esperimento seguente, che sembra essere quasi associato alla scoperta fatta da Doebereiner nel 1823 sulla spontanea combustione del platino spongioso (N. 171) esposto ad una corrente di gas idrogeno misto coll'aria comune. Una lastra di platino con superficie pulitissima, immersa nel gas ossigeno ed idrogeno misti nella proporzione in cui si ritrovano nella costituzione dell'acqua, cagiona la combinazione dei gas e viene formata l'acqua, il platino diventa caldo rovente, ed in ultimo ha luogo

un' esplosione; le sole condizioni necessarie per questo esperimento curioso essendo l'eccessiva purezza dei gas e della superficie della piastra. Una superficie metallica sufficientemente pura si può solo ottenere immergendo il platino nell' acido solforico caldissimo, e quindi lavandola nell'acqua distillata, o facendola polo positivo d'una pila galvanica nell'acido solforico allungato. Apparisce che la forza di coesione come la forza d' affinità, esercitata dalle particelle materiali, si estende a tutte le particelle dentro una piccolissima distanza. Quindi il platino, mentre attira le particelle dei due gas verso la sua superficie per la sua grande attrazione di coesione, le porta tanto vicine le une alle altre, che esse entrano nella sfera della loro mutua affinità, ed ha luogo una chimica combinazione. Faraday attribuisce in parte l' effetto ancora ad una diminuzione nell' elasticità delle particelle gassose sui loro lati adiacenti al platino ed alla loro perfetta mescolanza o associazione, come alla positiva azione del metallo nel condensarle di contro la sua superficie mediante la sua forza attrattiva. Le particelle chimicamente unite scorrono via dalla superficie del metallo sotto la forma di acqua per la loro gravitazione, o se ne vanno come vapore acquoso e fanno la strada ad altre.

Le oscillazioni dell' atmosfera e i cangiamenti nella sua temperatura sono misurati dalle variazioni nell' altezze del barometro e del termometro. Ma la reale lunghezza delle colonne liquide dipende non solo dalla forza di gravitazione, ma ancora da quella di coesione o dall'attrazione reciproca tra le molecole del liquido e quelle del tubo che lo contiene. Questa azione peculiare della forza di coesione è chiamata attrazione capillare o capillarità. Se un tubo di vetro di sottilissimo calibro, come un tubo termometrico fino, sia immerso in una vasca d'acqua o di spirito di vino, il liquido immediatamente sorgerà nel tubo sopra il livello del liquido della vasca e la superficie della piccola colonna così sospesa sarà un emisfero

concavo il cui diametro è il diametro interno del tubo. Se lo stesso tubo sarà immerso in un vaso pieno di mercurio, il liquido salirà pure nel tubo, ma non arriverà mai al livello di quello del vaso, e la sua superficie sarà un emisfero convesso il cui diametro è pure il diametro del tubo (N. 172); la elevazione o la depressione del medesimo liquido in differenti tubi della stessa materia è nella ragione inversa dei loro diametri interni (N. 173) e affatto indipendente dalla loro grossezza: quindi ne segue che l'azione molecolare è insensibile a sensibili distanze, e che solo lo strato il più sottile possibile della superficie interiore dei tubi è quello che esercita una sensibile azione sul liquido. Tanto infatti questo è il caso, che quando i tubi dello stesso calibro sono completamente umettati di acqua per tutta quanta la loro estensione, il mercurio salirà alla stessa altezza in tutti, qualunque sia la grossezza o densità loro; perchè la tenue veste di umidità basta ad allontanare la colonna interna del mercurio al di là della sfera di attrazione del tubo e fare le veci di un tubo per la sua propria attrazione capillare. Le forze che producono i fenomeni capillari sono l'attrazione reciproca del tubo e del liquido e delle particelle liquide l'une sulle altre, e perchè la colonna capillare possa essere in equilibrio, il peso di quella parte che sorge e s'abbassa di sotto al livello del liquido nella vasca, deve bilanciare queste forze.

La misura dell'azione del liquido è una parte difficile del problema. La Place, Young ed altri matematici hanno considerato il liquido nel tubo come se fosse d'uniforme densità, ma Poisson, in una di quelle magistrali produzioni nelle quali egli dilucida i più astrusi argomenti, ha provato che i fenomeni dell'attrazione capillare dipendono da un rapido decrescimento nella densità della colonna liquida per piccolissimo spazio alla sua superficie. Ogni strato indefinitamente sottile d'un liquido è compresso pel liquido sopra di sè e sostenuto dal liquido di sotto.

Il suo grado di condensazione dipende dalla grandezza della forza di compressione, e siccome questa forza decresce rapidamente verso la superficie dove svanisce, la densità del liquido pure decresce. Poisson ha dimostrato che quando questa forza non esiste, la superficie capillare diventa piana, e che il liquido nel tubo non salirà, nè s' abbasserà di sotto al livello del liquido della vasca. Nella misura delle forze è pure necessario includervi la variazione nella densità della superficie capillare attorno gli orli per l' attrazione del tubo.

La direzione della forza risultante determina la curvatura della superficie della colonna capillare. Perchè un liquido possa essere in equilibrio, la forza che risulta da tutte le forze che agiscono sopra di esso, deve essere perpendicolare alla superficie. Ora si vede che siccome il vetro è più denso dell' acqua o dell' alcool, la forza risultante sarà inclinata verso la parte interna del tubo: per questo la superficie del liquido deve essere più elevata ai lati del tubo che al centro, affinchè sia ad essa perpendicolare, così che sarà concava come nel termometro. Ma siccome il vetro è meno denso del mercurio, la forza risultante sarà inclinata dal lato interno del tubo (N. 174), così che la superficie della colonna capillare deve esser più depressa ai lati del tubo che nel centro per essere perpendicolare alla forza risultante, ed è in conseguenza convessa come si può vedere nel mercurio del barometro quando ascende. L' assorbimento dell' umidità per parte delle spugne, dello zucchero, de' sali ec. sono esempi familiari dell' attrazione capillare. In verità i pori dello zucchero sono così minuti, che sembra non esservi limite all' ascensione del liquido. Il vino è tirato su in una curva alla superficie interna di un bicchiere, il the sale sopra il suo livello ai lati della tazza; ma se il bicchiere o la tazza sono troppo pieni, gli orli attraggono il liquido in giù e gli danno una forma tonda. Una colonna di liquido sorgerà o s' abbasserà più del suo livello tra due superfici

piane parallele, quando sieno poste l' una vicino all' altra, secondo le densità relative delle piastre e del liquido (N. 175), e i fenomeni saranno esattamente gli stessi come in un tubo cilindrico, il cui diametro è doppio della distanza delle piastre l' una dall' altra. Quando le due superfici siano vicinissime l' una all' altra e si tocchino ad uno dei loro canti diritti, il liquido salirà più alto ai lati che sono in contatto, e gradualmente diminuirà in altezza, come le superfici diventano più separate. L' intero contorno della colonna liquida avrà la forma d' un' iperbole. In fatti, così universale è l'azione della capillarità, che i solidi e i liquidi non possono toccarsi senza produrre un cangiamento nella forma della superficie liquida.

Le attrazioni e le ripulsioni che derivano dalla capillarità, presentano molti fenomeni curiosi. Se due lamine di vetro o di metallo, che sieno umide o asciutte, vengano in parte immerse in un liquido, parallele l' una all' altra, il liquido sarà sollevato o depresso vicino alle loro superfici, ma conserverà il suo livello per il resto dello spazio che le separa: a tale distanza esse nè attraggonsi nè si rispingono, ma tosto che sono portate così vicine da fare disparire la parte a livello del liquido, e che le due parti curve liquide s' incontrino, le due lamine si slanceranno l' una verso l' altra, e rimarranno compresse insieme (N. 176). Se una delle superfici sia bagnata e l' altra secca, si rispingeranno a vicenda quando siano vicine da avere una superficie curva del liquido tra di loro: ma se vengono sforzate ad accostarsi un poco più vicine, la ripulsione sarà superata, e si attrarranno vicendevolmente come se fossero tutte e due umide, o tutte e due asciutte. Due palle di pece o di legno galleggianti sull' acqua, o due palle di latta sul mercurio, attraggonsi l' una l' altra, tosto che sono così vicine che la superficie del liquido è fatta curva fra di loro. Due navigli nell' oceano possono essere portati in collisione per questo principio. Ma due palle, una delle quali sia umida e l' al-

tra asciutta, respingonsi vicendevolmente appena il liquido che le separa diventa curvo alla sua superficie. Un frammento di foglia di the è attratto dall' orlo di una tazza se umido, e respinto se asciutto, purchè non sia troppo lontano dall' orlo e la tazza moderatamente piena; se è piena di troppo, accade il contrario. È probabile che l' ascensione del sugo nei vegetali si debba in qualche grado alla capillarità.

SEZIONE XV.

Analisi dell' atmosfera — Pressione atmosferica — Legge della diminuizione della densità — Legge della diminuzione di temperatura — Misura delle altezze per mezzo del barometro — Estenzione dell' atmosfera — Variazioni barometriche — Oscillazioni — Venti alisei — Mussoni — Rotazione de' venti — Leggi degli uragani.

L' atmosfera non è omogenea. L' analisi dimostra che di 100 parti, 99·5 si compongono di gas azoto ed ossigeno, misti nelle proporzioni di 79 a 21 in volume; il rimanente è di 0·05 parti di acido carbonico e più 0·45 di vapore acquoso. Queste proporzioni si ritrovano essere le stesse a tutte le altezze a cui sino adesso è l' uomo salito. L' aria è un fluido elastico che resiste alla compressione in ogni direzione ed è soggetto alle leggi della gravitazione. Siccome lo spazio nella cima del tubo barometrico è vuoto, la colonna di Mercurio sospesa per la pressione dell' atmosfera sulla superficie della vasca, è una misura del suo peso. Per conseguenza ogni variazione nella densità cagiona un corrispondente alzamento od abbassamento nella colonna barometrica. Al livello del mare nella lat. 42°, e alla temperatura del ghiaccio fondente, l' altezza media del barometro è 29·922 o 30 pollici approssimativamente. La pressione dell' atmosfera è di circa 15 libbre ogni pollice

quadrato, così che la superficie di tutto il globo sostiene un peso di 11,671,000,000 centinaia di milioni di libbre. La conchiglia che ha il potere di produrre un vuoto, aderisce allo scoglio colla pressione di 15 libbre sopra ogni pollice quadrato di contatto.

L' atmosfera quando è in equilibrio è una ellissoide spianata ai poli per la rotazione che subisce insieme colla terra. In questo stato gli strati suoi sono d' uniforme densità ad uguali altezze sopra il livello del mare: ma poichè l' aria è pesante ed elastica, la sua densità necessariamente diminuisce ascendendo sopra la superficie della terra; imperocchè ogni strato dell' aria è compresso solo pel peso superiore. Per questo gli strati superiori sono meno densi, perchè sono meno compressi che gli inferiori. Quindi è facile dimostrare, supponendo la temperatura costante, che se le altezze sopra la terra siano prese in una progressione aritmetica crescente, cioè se si aumentano per quantità uguali, p. e. d' un piede o d' un miglio, le densità degli strati dell' aria o le altezze del barometro che sono loro proporzionali, decresceranno in progressione geometrica. Per esempio, al livello del mare se la media altezza del barometro è 29·922 pollici, all' altezza di 18,000 piedi sarà di 14·961, od una metà così grande; all' altezza di 36,000 piedi sarà un quarto: a 54,000 piedi sarà un ottavo, e così via via. Sir J. Herschel ha dimostrato che il reale decrescimento è molto più rapido, e che in qualunque ipotesi formata rispetto alla divisibilità degli atomi aerei, il vuoto esiste all' altezza di 80 o 90 miglia sopra la superficie della terra, inconcepibilmente più perfetto che qualunque altro possa essere prodotto colla migliore macchina pneumatica.

Difatti il decrescimento in densità è tanto rapido, che tre quarti di tutta l' aria contenuta nell' atmosfera sono alla distanza di quattro miglia dalla terra; e siccome la sua superficiale estensione è 200 milioni di miglia quadrate, la relativa grossezza è minore di quella d' un fo-

glio di carta quando venga paragonata alla sua larghezza. L'aria ancora sulle cime delle montagne è sufficientemente rarefatta da diminuire l'intensità del suono, da influire sulla respirazione, e da produrre una perdita di forza muscolare. Il sangue scaturiva dalle labbra e dalle orecchie di Humboldt quando saliva le Ande, ed ei sperimentava le stesse difficoltà nell' accendere e mantenere il fuoco a grandi altezze come quelle che Marco Polo, il veneziano, provava sulle montagne dell' Asia centrale. Gay-Lussac salì in un pallone all' altezza di 4·36 miglia, e soffrì molto per la rarefazione dell' aria. È vero che all' altezza di 37 miglia l' atmosfera è ancora abbastanza densa per riflettere i raggi del sole quando si ritrova 18° più basso dell' orizzonte, ma le code delle comete dimostrano che anche la materia estremamente attenuata è capace di riflettere la luce. E sebbene all' altezza di 50 miglia lo scoppio della meteora del 1783 si sia udito sulla terra come un colpo di cannone, questo prova solo la grandezza della esplosione di una massa di mezzo miglio di diametro, che poteva produrre un rumore capace di penetrare l' aria tremila volte più rarefatta di quella che noi respiriamo. Ma queste altezze ancora sono estremamente piccole, quando si paragonino col raggio della terra.

La densità dell' aria è modificata da parecchie circostanze, e specialmente dai cambiamenti di temperatura, perchè il calore dilata l' aria, e il freddo la contrae, variando $\frac{1}{480}$ di tutto il volume, quando è a 32° per ogni grado del termometro di Fahrenheit. L' esperienza dimostra che il calore dell' aria decresce, come l' altezza sopra la superficie della terra aumenta. Si vede che la temperatura media dello spazio è 226° sotto lo zero di Fahrenheit, secondo le teorie di Fourier e di Pouillet, ma Giovanni Herschel ha calcolata sia — 239° Fahrenheit dalle osservazioni fatte nelle ascensioni in palloni. Tale sarebbe probabilmente la temperatura della superficie terrestre ancora, se non fosse a motivo del potere non conduttore

dell' aria, per cui impedisce si dissipi il calorico dei raggi solari che la terra assorbe e irraggia in tutte le direzioni. Il decrescimento in calore è irregolarissimo: ogni autore ne dà una differente valutazione, perchè il decrescimento varia con la latitudine e con le locali circostanze, ma dalla media di cinque differenti calcoli sembra essere circa un grado per ogni 334 piedi; la media delle osservazioni fatte nei palloni è di 400 piedi, la quale è probabilmente la più vicina al vero. Questa è la causa del rigido freddo e delle eterne nevi sulla sommità delle catene alpine. Nel 1852 quattro ascensioni in un pallone ebbero luogo nell' Osservatorio astronomico di Kew, nelle quali la massima altezza ottenuta fu di 22,370 piedi. Le osservazioni allora fatte da Welsh fornirono a Giovanni Herschel dei dati per calcolare che la temperatura dello spazio è 239°, cioè 239° sotto lo zero di Fahr., che la temperatura limite dell' atmosfera è probabilmente 77 $\frac{1}{2}$ gradi sotto quel punto all' equatore, e 119 $\frac{1}{2}$ sotto il medesimo ai poli, con una variabilità di temperatura dalla superficie, di 161° $\frac{1}{2}$ nel primo caso, e di 119° $\frac{1}{2}$ nel secondo. Durante queste ascensioni fu ritrovato che la temperatura dell' aria decresce uniformemente fino ad un certo punto, dove s'arresta e diventa costante, ossia cresce nello spazio di 2,000 a 3,000 piedi, dopo di che essa decresce di nuovo secondo la legge stessa, come prima. A traverso questa zona di costante temperatura, o piove, o vi è una copiosa caduta di rugiada; in breve, e la regione delle nubi, e l' incremento di temperatura si deve al calorico latente o assorbito fatto libero nella condensazione del vapore acquoso. Nella latitudine di Kew la regione nuvolosa comincia ad altezze che variano tra 2,000 e 6,500 piedi secondo lo stato della stagione.

Se non fosse per gli effetti della temperatura sulla densità dell' aria, le altezze delle montagne potrebbero essere determinate col barometro solo, ma siccome il termometro deve pure essere consultato, la determinazione

diviene più complicata. Il metodo d'Ivory per calcolare le altezze colle misure barometriche, ha il vantaggio di unire l'accuratezza colla massima semplicità. Infatti l'accuratezza colla quale le altezze delle montagne si possono ottenere con questo metodo, è notevole assai. Smyth e Herschel hanno misurato l'altezza dell'Etna col barometro senza alcuna comunicazione fra loro ed in anni diversi: Smyth la calcolava 10,874 piedi, Herschel 10,873, colla differenza d'un solo piede. In conseguenza della pressione diminuita dell'atmosfera, l'acqua bolle ad una temperatura più bassa sulle vette delle montagne che nelle valli, il che indusse Fahrenheit a proporre questo modo di osservazioni come un metodo di accertarsi delle loro altezze. Questo metodo è semplicissimo; come il Professor Forbes ha verificato, la temperatura del punto d'ebollizione varia in una proporzione aritmetica con l'altezza, ossia 5,495 piedi per ogni grado di Fahrenheit, così che il calcolo delle altezze diventa un puro calcolo aritmetico senza bisogno d'alcuna tavola.

La media pressione dell'atmosfera non è sempre la stessa sopra tutto il globo. Essa è minore di 0·24 di pollice all'equatore che ai tropici, o nelle più alte latitudini, in conseguenza dell'ascensione dell'aria riscaldata e del vapore che viene dalla superficie dell'oceano. È pure minore sulle spiaggie del Mar Baltico, di quello che lo sia in Francia, ed è stato osservato da James C. Ross che a traverso l'intero Oceano Antartico dal 68° al 74° lat. Sud, e dall'8° al 7° di longitudine occidentale, vi è una depressione del barometro d'un pollice e più, il che è equivalente ad un'elevazione sopra il livello del mare di 800 piedi. Una simile depressione è stata osservata da Erman nel mare di Ochotzk e nell'adiacente continente della Siberia Orientale. Sir J. Herschel indica come causa di queste singolari anomalie, il gran sistema della circolazione dei venti alisei nei due emisferi, che reagiscono sopra la massa generale dei continenti come ostacoli al loro cam-

mino, il quale è modificato per la configurazione della terra.

Vi sono varie periodiche oscillazioni nell' atmosfera che innalzandosi ed abbassandosi come le onde marine, cagionano corrispondenti cambiamenti nell' altezza del barometro: esse per altro differiscono tanto dai venti alisei, mussoni ed altre correnti, come le maree del mare dal Gulfstream o da altre correnti oceaniche. Il sole e la luna disturbano l'equilibrio dell'atmosfera per la loro attrazione, producono annue ondulazioni che hanno il loro massimo d' altezza agli equinozi, e il loro minimo ai solstizi. Vi sono ancora le maree lunari che s' abbassano e s' inalzano due volte nel corso d'una lunazione. Le maree diurne che compiono il loro flusso e riflusso in sei ore, sono molto modificate dal calore del sole. Fra i tropici il barometro arriva al suo massimo d' altezza circa le nove della mattina, quindi s' abbassa sino alle tre, o le quattro pomeridiane: di nuovo rimonta, ed arriva ad un secondo massimo circa le 9 di sera, e quindi comincia a calare, ed arriva ad un secondo minimo alle tre del mattino per continuare lo stesso corso. Secondo Bouvard l'aumento delle oscillazioni all'equatore è proporzionale alla temperatura, ed in altri paralleli varia secondo la temperatura e il quadrato del coseno della latitudine insieme, per conseguenza decresce dall' equatore ai poli, ma è qualche poco più grande nel giorno che nella notte.

Oltre queste piccole ondulazioni ve ne sono delle grandi che muovonsi perpetuamente sopra i continenti e gli oceani in sistemi separati ed indipendenti, essendo confinati a determinate località, quantunque estesissimi distretti, probabilmente occasionate da pioggie lungamente continuate o da stagioni asciutte sopra larghi tratti di paese. Per mezzo di numerose osservazioni barometriche fatte simultaneamente nei due emisferi, i corsi di parecchie sono stati tracciati, alcune delle quali occupano 24 ed altri 36 ore a compire la loro salita e la loro calata.

Una specialmente di queste grandi onde barometriche, di molte centinaia di miglia di estensione, è stata tracciata sopra la maggior parte d'Europa; e non solo la sua larghezza ma la direzione ancora della sua progressione e la sua velocità è stata chiaramente accertata. Sebbene, simili a tutte le altre ondulazioni, queste non sieno che forme che si muovono, nondimeno ne nascono dei venti dipendenti da loro come le correnti nell'oceano. Birt ha determinato i periodi di altre onde di estensione e durata anche maggiore, due delle quali richiedono 17 giorni a montare e a discendere; ed un'altra, che mette 14 giorni a compiere la sua ondulazione, chiamata da Birt l'onda novembrina, passa annualmente per l'Isole Britanniche, probabilmente per tutte le spiaggie dell'Europa, ed i mari delle coste nordiche. La sua cresta, che si mostra estesa di 6,000 miglia, muove dal N. O. al S. E. in ragione di circa 19 miglia all'ora, mentre l'estensione della sua barometrica elevazione dal suo più basso punto alla sommità è di rado minore d'un pollice, qualche volta raddoppia questa quantità. La grande elevazione è preceduta e seguíta nell'intervallo di circa 5 giorni da due più basse, e il principio e il fine sono marcati da profonde depressioni. Le ricerche di Leverrier non lasciano dubitare che la grande burrasca di Crimea del 14 novembre 1854, fu parte di questo fenomeno;[1] perocchè la più piccola differenza della pressione atmosferica basta a sollevare un notabile vento. Poichè ogni oscillazione ha il suo effetto completo indipendentemente dalle altre, ognuna è contrassegnata da un cangiamento nel barometro, e questo fenomeno è egregiamente spiegato col mezzo di curve costruite dietro una serie di osservazioni. La forma generale della curva dimostra il corso dell'onda principale, mentre le piccole ondulazioni nel loro contorno lineare indicano i massimi e i minimi delle oscillazioni minori.

[1] Herschel, sulla Metereologia.

I venti alisei, che costituiscono le principali correnti dell'atmosfera, sono soltanto un caso particolare di quelle leggi generali che regolano il movimento dei venti dipendenti dalla rarefazione dell'aria, combinato con la rotazione della terra sul suo asse. Essi sono correnti permanenti di venti tra i tropici, che soffiano al N. E. dal lato N. dell'equatore, e al S. E. dal lato S.

Se le correnti dell'aria vengono dai poli, è chiaro che l'equilibrio dev' essere ristaurato dalle contro-correnti dell'equatore: di più, venti che vengono dai poli, dove non vi è rotazione, verso l'equatore il quale si rivolge dall'ovest all'est in ragione di 1,000 miglia all'ora, devono necessariamente muoversi in una direzione risultante dal loro proprio movimento progressivo e da quello della rotazione; quindi soffiando verso l'equatore, la direzione è all'E., e soffiando da quello, lo è all'O. Così siccome i venti di settentrione e di mezzogiorno soffiano dai poli lunghesso la superficie dai tropici all'equatore in conseguenza di questa composizione di movimenti, quello che deriva dal N. diventa il vento aliseo N. E., e quello dal S. diventa l'aliseo S. E. Ora, questi venti soffiando in contrarie direzioni s'incrociano all'equatore, si equilibrano l'uno l'altro per circa 6 gradi di latitudine, e producono una zona di calma di questa larghezza che attornia il globo, conosciuta col nome di zona di calme dell'equatore o Venti Variabili dei navigatori. Il calore del sole rarefà l'aria talmente, che gli alisei, detti anche venti commerciali, dopo d'avere attraversato l'equatore, ascendono nelle più alte regioni dell'atmosfera, dove l'aliseo che soffia dal N. va al tropico del Capricorno, e quello del Sud al tropico del Cancro. Ma mentre passano per queste alte regioni, essi diventano freddi e pesanti, e cadendo sulla superficie ai tropici, ognuno procede verso il polo opposto dal quale è uscito. Ora, ciò non ostante, essi hanno un movimento rotatorio maggiore di quello dei luoghi ai quali arrivano successivamente, così la di-

rezione è all' O., ed essi diventano i venti extratropicali N. O. e S. O.

Se nell' arrivare ai poli l' aria fosse quivi addensata, la circolazione dei venti cesserebbe, ma le correnti s' alzano alle regioni superiori, e scorrono indietro di nuovo ai tropici, dove esse cadono giù a riempire il vuoto cagionato per la grande precipitazione del vapore in queste regioni, e soffiano all' equatore come venti alisei (N. 177). Così le correnti d' aria attraversano di nuovo i tropici e producono due zone di calma che attorniano il globo, nominate dal luogotenente Maury le Calme del Cancro, e le Calme del Capricorno, ma generalmente conosciute dai marinari inglesi col nome di *Doldrums*. Così i venti vanno da polo a polo, e tornano indietro di nuovo, alternativamente come correnti superiori ed inferiori. Nel loro giro i venti s' attraversano l' un l' altro cinque volte, producendo regioni di calma ai poli, ai tropici e all' equatore. Gli alisei generalmente si estendono circa 28° da ogni lato dell' equatore, ma a motivo della maggior quantità di terra nell' emisfero nordico, l' aliseo N. E. è più ristretto del S. E.

Il sole innalza continuamente quantità enormi di vapore dall' oceano, che gli alisei portano all' equatore: esso è condensato quando s' innalza con l' aria nei più alti strati, e forma un anello di nubi lungo il lato australe della zona delle calme equatoriali che circonda la terra, versa continuamente durante il giorno torrenti di pioggia, mentre il sole battendo continuamente la sua superiore superficie discioglie le nubi in vapore invisibile, il quale è portato dai venti e condensato in pioggia sulle regioni extra-tropicali. Tutto il sistema degli alisei, le calme tropicali ed equatoriali coll' anello di nubi seguono il sole in declinazione; per conseguente nel suo corso indietro e avanti, il detto sistema attraversa in un anno 1,000 miglia di latitudine, e regola la stagione secca e piovosa nelle regioni tropicali della terra.

I mussoni, i quali sono venti periodici dell'oceano Indiano, dipendono in parte da questo movimento. Perocchè quando il sole è nell' emisfero nordico, gli alisei vanno verso il Nord con lui; e quando il suo intenso calore rarefà l'aria sopra il Gran Gobi ed altri aridi deserti asiatici, l'aria ascende; l'aliseo N. E. è spinto a riempire il vuoto ed ascende con essa; allora l'aliseo S. E. non essendo più incontrato e bilanciato dall'aliseo N. E. passa nell' emisfero nordico, e siccome procede verso Nord dall'equatore, è deviato all'Ovest pella rotazione della terra, e combinato col passaggio sui deserti riscaldati, diventa il mussone S. O., il quale soffia mentre il sole è al Nord dell'equatore; ma appena questi va al Sud e non rarefà più l'aria sopra i deserti indiani, l'aliseo S. E. riprende il suo corso ordinario, ed allora è conosciuto col nome di mussone S. E. L'influenza dei deserti riscaldati è sensibile alla distanza di 1,000 miglia dal lido: i mussoni prevalgono con grande costanza sopra il Golfo Arabico, l'oceano Indiano e parte del mare della China. Al cambiamento di direzione torrenti di pioggia e violenti tempeste e tuoni accompagnano il conflitto tra i battaglianti venti.

Il deserto di Sahara nel Nord dell' Affrica, e quei di Utah, Texas e Nuovo Messico, danno origine ai mussoni che prevalgono nell' Atlantico boreale e sui due lati dell' America centrale, e i mussoni che soffiano al Nord dell' Australia indicano la sterilità dell' interno, anche quando mancassero altre prove. Pel potente effetto che ha la terra di deviare i venti dal loro corso, si può conoscere perchè gli alisei N. E. sian più ristretti che gli alisei S. E.

Nei venti extra-tropicali dell' Atlantico boreale, che soffiano dal 40mo parallelo al polo, i nord-occidentali sono agli orientali come 2 ad 1, quindi vi sarebbe un addensamento di aria al polo con dispendio dell' equatore, non potendo una corrente salire al polo e ritornare al-

l' equatore per le alte regioni dell' atmosfera; ciò che conferma la teoria della rotazione del vento.

Vi sono molte prove dell' esistenza delle contro correnti sopra i venti alisei. Sul Picco di Teneriffa, i venti che prevalgono, sono di ovest. Nubi leggiere sono state spesso vedute muoversi rapidamente dal ovest all' est a grandissime altezze sopra i venti alisei che spazzavano la superficie dell' oceano in una contraria direzione. Piogge, nubi, e presso che ogni altro fenomeno atmosferico avvengono al di sotto l' altezza di 18,000 piedi, e generalmente molto più vicino alla superficie terrestre. Questi fenomeni si devono alle correnti di aria che scorrono l' una sopra l' altra in istrati orizzontali, e che differiscono nel loro stato elettrico, nella temperatura e nell' umidità come nella velocità e direzione.

Quando i venti settentrionali e meridionali soffiano alternativamente, il vento in un dato luogo passerà in una direzione uniforme per ogni punto della bussola, purchè l' uno cominci prima che l' altro abbia cessato di soffiare. Nell' emisfero settentrionale un vento del nord comincia con un movimento rotatorio, inferiore in velocità a quello che abbiano i luoghi ai quali arriva successivamente; per conseguenza esso fa il giro di tutti i punti della bussola da N. al N. E. e all' E. Una corrente che viene dal S., al contrario, soffia con una maggiore velocità rotatoria di quella che abbiano i luoghi dove arriva successivamente; così per la rotazione della terra essa è deviata dal S. e diretta al S. O. e O. Ora se la banderuola in qualche luogo girasse dal N. pel N. E. all' E. e sorgesse un vento meridionale, questo combinerebbe il suo movimento col primo e farebbe girare la banderuola successivamente dall' E. al S. E. e S. Ma per la rotazione della terra questo vento meridionale girerà al S. O. e O., e se un vento allora sorgesse, combinerebbe il suo movimento con quello dell' O. e farebbe girare questo vento al N. O. e N. Così due alternative di vento nord e sud faranno che

la banderuola di qualsiasi luogo giri completamente attorno la bussola da N. ad E. S. O., e a N. di nuovo. Al R. Osservatorio di Greenwich il vento compisce cinque circuiti in questa direzione nel corso d' un anno. Quando le circostanze si combinano a produrre venti alternativi N. e S., nell' emisfero meridionale, il giro succede nella direzione contraria. Sebbene la generale tendenza del vento possa essere rotatoria, ed è così in molti casi almeno per parte dell' anno, è spesso non di meno contraddetta dalle locali circostanze, così che i venti sono in generale irregolarissimi, producendo ogni disturbo nell' equilibrio atmosferico pel calore solare o per altra causa che produce un vento corrispondente. I venti che più prevalgono in Europa sono il N. E. e il S. O.: il primo nasce dalla corrente polare nord, e l' ultimo dalle cause già menzionate. La legge della rotazione dei venti fu indicata dal dottor Dalton, ma è stata sviluppata dal professor Dove di Berlino.

Gli uragani sono quei turbini di vento nei quali la porzione di atmosfera che li forma, gira in un circuito orizzontale attorno ad un asse di rotazione verticale o alquanto inclinato, mentre l' asse istesso e per conseguenza tutto il turbine è portato in avanti lungo la superficie terrestre in modo che la direzione nella quale il turbine procede è del tutto differente dalla direzione nella quale la corrente rotatoria può soffiare in qualche punto. Nell' Indie occidentali, dove gli uragani sono frequenti e distruggitori, generalmente hanno origine nelle regioni tropicali vicino all' interno limite dei venti alisei, e sono cagionati dall' ascensione verticale di una corrente delle circonvicine regioni messe in giro dalla rotazione della terra. Il numero maggiore degli uragani atlantici ha principio verso l' est delle piccole Antille o dell' isole del Mare dei Caribei.

In ogni caso l' asse del turbine si muove in una curva ellittica o parabolica, che ha il suo vertice presso al tro-

pico del Cancro il quale segna il limite esterno dei venti alisei al nord dell' equatore. Siccome il movimento prima d' arrivare al tropico è una linea retta dal S. E. al N. O. e passatolo dal S. O. al N. E., la convessità della curva è rivolta verso la Florida e le Caroline. Nell' emisfero meridionale il corpo del turbine si muove nella direzione esattamente opposta. Gli uragani che nascono al sud dell' equatore e il cui cammino iniziale è da N. E. a S. O. piegano attorno al tropico di Capricorno, e quindi inclinano da N. O. a S. E.

L' estensione e la velocità di questi turbini sono grandi; per esempio, l' uragano che ebbe luogo il 12 agosto 1830 si estese dall' est dell' Isole Caribee lungo il Gulf Stream fino al Banco di Terranova, distanza di più di 3,000 miglia che percorse in sei giorni. Sebbene l' uragano del 1° settembre 1821 non fosse così esteso, la sua velocità fu maggiore, siccome quello che si moveva in ragione di 30 miglia all' ora: i piccoli turbini sono generalmente più rapidi che quelli di grandi dimensioni.

L' azione di questi turbini sembra essere da prima limitata allo strato d' aria il più vicino alla terra; ed allora di raro appariscono essere più alti d' un miglio, sebbene qualche volta s' innalzino di più; od anche sono divisi da qualche montagna in due separati turbini, ognuno dei quali continua il suo corso nuovo e gira con accresciuta violenza. Questo avvenne nel forte vento del 25 decembre 1821 nel Mediterraneo, quando le montagne spagnuole e l' alpi marittime divennero nuovi centri di movimento.

Per l' attrito della terra l' asse del turbine inclina un poco in avanti. Questo cagiona un continuo miscuglio degli strati più bassi e più caldi dell' aria con quelli che sono più alti e più freddi producendo torrenti di pioggia e violente esplosioni elettriche.

La larghezza del vento vorticoso è di molto aumentata, quando il cammino del turbine cangia incrociando

il tropico. Il vortice d' un turbine ha talvolta coperto un' estensione della superficie del globo di 500 miglia di diametro.

Il moto di rivoluzione rende ragione degli improvvisi e violenti cangiamenti osservati durante gli uragani. In conseguenza della rotazione dell' aria, il vento soffia in opposte direzioni su ciascun lato dell' asse del turbine, e la violenza del soffio cresce dalla circonferenza verso il centro del giro, ma nel centro stesso l' aria è in riposo: quindi, se il corpo del turbine passa sopra un luogo, il vento comincia a soffiare moderatamente, e cresce fino a diventare uragano come s' accosta il centro del vortice; allora in un momento succede una calma mortale e terribile, seguita d' improvviso dal rinnovamento del turbine in tutta la sua violenza, ma che allora soffia in una direzione diametralmente opposta al primo suo corso. Questo accadde all' isola di San Thomas il 2 agosto 1837 dove l' uragano crebbe in violenza sino le 7 e mezzo del mattino; allora una quiete perfetta ebbe luogo per 40 minuti, dopo di che il turbine ricominciò in una direzione contraria.

L' improvisa caduta del mercurio del barometro nelle regioni abitualmente visitate dagli uragani è una indicazione certa della imminente procella. In conseguenza della forza centrifuga di questi turbini rotatorii, l' aria diventa rarefatta, e siccome l' atmosfera è disturbata a qualche distanza al di là del cerchio di rotazione o dei limiti del turbine, il barometro spesso cade qualche ora prima del suo arrivo, per ragione dell' originale causa del disturbo rotatorio. Esso séguita a calare per la prima metà dell' uragano, è ad un massimo talvolta di due pollici nel centro del giro, e di nuovo si rialza durante il passaggio dell' altra metà, sebbene non arrivi alla sua massima altezza sino a che il turbine non è passato. La diminuzione della pressione atmosferica è maggiore, e si estende sopra un' area più ampia

nelle zone temperate che nella torrida, a motivo dell'improvvisa espansione del cerchio di rotazione, quando il vento gagliardo incrocia il tropico.

Siccome la caduta del barometro dà avviso dell'uragono, così le leggi del moto del turbine somministrano al marinaro le cognizioni come evitarlo. Nelle zone temperate settentrionali, se il vento comincia da S. E. e gira pel sud all'O. il naviglio deve navigare a S. E., ma se il vento comincia dal N. E. e cangia pel nord al N. O. il vascello dovrà andare al N. O. Nella parte settentrionale della zona torrida, se il turbine comincia dal N. E. e gira per E. a S. E., il naviglio dovrebbe navigare al N. E.; ma se comincia dal N. O. e gira per O. al S. O., il naviglio dovrebbe navigare al S. O., perchè è nel lato Sud-Ovest del turbine. Poichè le leggi dei turbini sono al rovescio nell'emisfero meridionale, le leggi per governare i vascelli sono di necessità ancora contrarie. Le ondate pesanti sono particolarmente caratteristiche di questi turbini. Nell'aperto mare il rigonfiamento spesso si estende molte leghe al di là del circuito del vento che lo produce.

Le trombe marine sono cagionate da piccoli turbini che hanno sempre la loro origine ad una grande distanza da quella parte del mare dalla quale la tromba comincia a sorgere, dove generalmente vi è calma. Il turbine è prodotto da due correnti d'aria, le quali andando in direzioni opposte, l'una comprime l'altra col loro impeto così, che sorgono in spire fino alle nubi. Le trombe marine muovonsi lentamente lunghesso la superficie del mare, talvolta verticalmente, e qualche volta intortigliate a spire, mettendo il mare in una violenta agitazione quando passano e portano l'acqua in alto per la forza di rivoluzione. Alle volte le trombe cominciano nelle nubi e s'approfondono giù fino al mare.

SEZIONE XVI.

Suono — Propagazione del suono spiegata per mezzo d'un campo di spighe di grano in piedi — Natura delle onde — Propagazione del suono nell'atmosfera — Intensità — Rumori — Suono musicale — Qualità — Altezza — Estensione dell'udito umano — Velocità del suono nell'aria, nell'acqua e nei solidi — Cause di ostacolo pel suono — Legge dell'intensità del suono. — Riflessione del suono — Eco — Tuono — Rifrazione del suono — Interferenza dei suoni.

Uno degli usi più importanti dell'atmosfera è la trasmissione del suono. Senza l'aria, un silenzio di morte dominerebbe per la natura, perchè in comune con tutti i corpi, l'aria ha una tendenza ad impartire delle vibrazioni agli altri corpi che si trovano in contatto con lei. Per questo le ondulazioni ricevute dall'aria, o derivino da un impulso istantaneo tale come una esplosione, o dalle vibrazioni d'una corda sonora, sono propagate in ogni direzione e producono la sensazione del suono sui nervi acustici. Un campanello, che si agiti sotto il recipiente d'una macchina pneumatica priva d'aria, non si sente; il che mostra che l'atmosfera è realmente il mezzo propagatore del suono. Nelle piccole ondulazioni dell'acqua profonda in calma, le vibrazioni delle piccole particelle acquose si fanno nel piano verticale, cioè sopra e sotto, ossia ad angoli retti colla direzione della trasmissione delle onde. Ma le vibrazioni delle particelle aeree che producono il suono, differiscono da queste, eseguendosi nella stessa direzione nella quale si propagano le onde sonore. La propagazione del suono è stata spiegata con l'imagine d'un campo di spighe di grano agitate dal vento. Quantunque irregolare il movimento del grano possa sembrare ad una occhiata superficiale, si ritroverà, se la velocità del vento è costante, che le onde sono precisamente tutte simili ed eguali, e che tutte sono separate da eguali intervalli e muovonsi in tempi eguali.

Un soffio improvviso abbassa ogni spiga egualmente e successivamente nella direzione del vento, ma in conseguenza dell' elasticità dei gambi e della forza dell' impulso ogni spiga non solo si rialza di nuovo appena la pressione è rimossa, ma s' inchina all' indietro quasi altrettanto in direzione contraria, e quindi continua ad oscillare avanti e indietro in tempi eguali come un pendolo con sempre minore estensione, sinchè la resistenza dell' aria pone un termine al moto. Queste vibrazioni sono le stesse per ogni spiga di grano. Nondimeno siccome le oscillazioni non cominciano tutte allo stesso tempo, ma successivamente, le spighe avranno una varietà di posizioni ad ogni istante. Alcune di esse che vanno in avanti, incontreranno altre nelle loro vibrazioni di ritorno, e siccome i tempi dello oscillazioni sono eguali per tutte, le spighe verranno affollate con intervalli regolari. Tra questi affollamenti avverranno spazi eguali dove le spighe saranno poche in conseguenza dell' essere inclinate in opposte direzioni, e ad altri intervalli eguali le spighe saranno nelle naturali posizioni rette. Così che su tutto il campo vi sarà una serie regolare di condensazioni e di rarefazioni fra le spighe di grano, separate da intervalli eguali, dove esse saranno al loro stato naturale di spessezza. In conseguenza di questi cangiamenti il campo sarà distinto da un alternarsi di zone luminose ed oscure. Così l' onde successive che scorrono sopra il grano con la velocità del vento sono totalmente distinte ed interamente indipendenti dall' estensione delle oscillazioni d' ogni spiga individuale, sebbene ambedue abbiano luogo nella stessa direzione. La lunghezza di un' onda è eguale allo spazio tra due spighe che si trovano precisamente nello stesso stato di movimento, o che si muovono similmente, ed il tempo della vibrazione d' ogni spiga è eguale a quello che passa fra l' arrivo di due onde successive al punto stesso.

La sola differenza tra le ondulazioni d' un campo di

grano e quelle dell' aria che producono il suono, si è che ogni spiga di grano si muove per una causa esterna e non è influenzata dal movimento del resto, laddove nell' aria, che è un fluido compressibile ed elastico, quando una particella comincia ad oscillare, essa comunica le sue vibrazioni alle particelle circostanti che le trasmettono alle adiacenti, e via via. Quindi dalle successive vibrazioni delle particelle aeree le stesse regolari condensazioni e rarefazioni hanno luogo come nel campo di grano, producendo delle onde per la intera massa dell' aria, sebbene ogni molecola come ogni spiga individuale di grano, non si allontani mai molto dal suo stato di quiete. Le piccole onde di un liquido e le ondulazioni dell' aria come le onde nel grano, non sono masse reali che si muovano nella direzione nella quale esse si avanzano, ma sono contorni, movimenti o forme che passano via e comprendono tutte le particelle di un fluido ondulatorio, le quali ad uno stesso tempo sono in uno stato di vibrazione. Egli è così che un impulso dato a un qualche punto dell' atmosfera è successivamente propagato in ogni direzione, in un' onda divergente come dal centro d' una sfera a distanze sempre maggiori, ma con decrescente intensità, in conseguenza del numero crescente delle particelle di materia inerte che la forza deve muovere; come le onde formate nell' acqua quieta al cadere d' una pietra, le quali sono propagate circolarmente tutto attorno il centro di perturbazione (N. 160).

La intensità del suono dipende dalla forza ed estensione delle vibrazioni iniziali dell' aria, ma checchè esse possano essere, ogni ondulazione, quando una volta è formata, può solo trasmettersi in avanti in linea retta, e non mai ritorna addietro, a meno che venga riflessa da un ostacolo che le si opponga. Le vibrazioni delle molecole aeree sono sempre estremamente piccole, mentre le onde sonore variano da pochi pollici a parecchi piedi. I vari stromenti musicali, la voce umana e quella degli ani-

mali, il canto degli uccelli, il ronzio degli insetti, il rumore delle cateratte, il fischiare del vento e le altre innumerevoli particolarità di suono, mostrano ad un tempo un' infinita varietà nei modi della vibrazione aerea, e la sorprendente acutezza e delicatezza dell' orecchio così atto ad apprezzare le minutissime differenze nelle leggi dell' oscillazione molecolare.

Tutti i semplici rumori sono cagionati da impulsi irregolari comunicati all' orecchio; e se sono corti, subiti e ripetuti al di là d' un certo grado di prestezza, l' orecchio perde gl' intervalli di silenzio ed il suono comparisce continuo. Sempre questi suoni saranno puri rumori: per produrre un suono musicale, gl' impulsi e conseguentemente le ondulazioni dell' aria devono essere esattamente simili nella durata e nell' intensità e devono avvenire dopo intervalli di tempo esattamente eguali. Se un colpo viene dato al più vicino d' una serie di piuoli larghi, piani ed equidistanti, posti col taglio in dirittura verso l' orecchio, ogni piuolo ripeterà o echeggerà il suono, e questi echi ritornando all' orecchio ad intervalli successivi eguali di tempo produrranno una nota musicale. La qualità della nota musicale dipende dalla subitezza, e la sua intensità dalla violenza ed estensione dell' impulso originale. Nella teoria dell' armonia, la sola proprietà del suono che si prende in considerazione è l' altezza che varia secondo la rapidità delle vibrazioni. I toni bassi o gravi sono prodotti da vibrazioni lentissime, che crescono in frequenza come la nota diventa più alta. La voce più bassa dell' uomo fa 306 vibrazioni in un secondo, mentre la voce più alta della donna ne fa 2,112. I toni bassissimi non sono sentiti da tutti egualmente, e il dottor Wollaston, che fece una quantità di esperimenti sul senso dell' udito, ritrovò che molte persone sebbene non affatto sorde erano insensibili affatto al grido della nottola o del grillo, mentre per altre persone è esso uno strido insoffribile. Da questi esperimenti egli concludeva che l' udito umano è

limitato circa nove ottave, estendendosi dalla nota più bassa dell'organo, al più alto grido che si conosca d'insetti, ed osserva colla sua solita originalità che: « come non vi è cosa nella natura dell'atmosfera da impedire la esistenza di vibrazioni incomparabilmente più rapide che alcuna di quelle di cui siamo consci, possiamo imaginare che animali come i grilli le cui facoltà sembrano cominciare prossimamente dove finiscono le nostre, possano avere la facoltà di udire suoni anche più acuti che noi non sappiamo ch' esistono, e che vi possono essere altri insetti che non odono nulla in comune con noi, ma dotati d' un potere d' eccitamento e d' un senso che percepisce le vibrazioni, della stessa natura invero di quelle che costituiscono i nostri suoni ordinari, ma così remoti, che gli animali che le sentono si può dire posseggano un altro senso, d' accordo solo col nostro pel mezzo nel quale è eccitato. »

Savart, tanto ben conosciuto pel numero e per la bellezza delle sue ricerche in acustica, ha provato che l'essere una nota alta di una data intensità, udita da qualche orecchio e non da altri, non dipende dalla altezza della nota, ma dalla sua debolezza. Gli esperimenti di Savart e quelli anche più recenti di Weatstone dimostrano che se gl' impulsi si potessero rendere abbastanza potenti, difficilmente si potrebbe fissare un limite all' udito umano all' una e all' altra estremità della scala. Savart aveva una ruota di circa nove pollici di diametro con 360 denti posti ad eguale distanza attorno il suo orlo, così che, messa in movimento, ogni dente successivamente batteva sopra un pezzo di cartoncino. Il tono cresceva in altezza colla rapidità della rotazione, ed era purissimo, quando il numero dei colpi non eccedeva tre o quattro mila in un secondo: al di là però diveniva debole ed indistinto. Con una ruota di grandezza maggiore potevasi ottenere un tono molto più alto: perchè i denti essendo separati di più, i colpi erano più intensi e più lontani gli uni

dagli altri. Con 720 denti sopra una ruota di 32 pollici di diametro si sentiva il suono prodotto da 12,000 colpi in un secondo, ciò che corrisponde a 24,000 vibrazioni di una corda musicale. Così che, l'udito umano può apprezzare un suono che dura solo la 24,000^{ma} parte di un secondo. Questa nota era distintamente udita da Savart e da molte persone che erano presenti; il che lo convinse che con un altro apparecchio, suoni anche più acuti potrebbero essere udibili.

Per i toni profondi Savart impiegava una sbarra di ferro lunga due piedi ed otto pollici, larga circa due pollici ed in grossezza mezzo pollice, la quale girava attorno il suo centro come se le sue braccia fossero i razzi d'una ruota. Quando una tale macchina gira, imprime un movimento nell'aria simile al proprio, e quando una sottile assicella o un pezzo di cartoncino è portato vicino alle sue estremità, la corrente dell'aria è momentaneamente interrotta all'istante in cui ogni braccio della sbarra passa avanti il cartoncino; è compressa sopra il cartoncino e dilatata al di sotto: ma nell'istante in cui è passata, una corrente d'aria che si precipita per ristaurare l'equilibrio fa una specie d'esplosione, e questa corrente essendo rapida e successivamente ripetuta, si produce una nota musicale d'un'altezza proporzionale alla velocità della rivoluzione. Quando Savart rivolgeva la sbarra lentamente, si udiva una successione di colpi distinti; come la velocità diveniva maggiore, il suono era solo uno scricchiolare: ma tosto che era sufficiente a dare otto colpi in un secondo, si sentiva distintamente una nota profondissima musicale corrispondente a sedici vibrazioni semplici in un secondo, che è la più bassa che sino a qui sia stata prodotta. Quando la velocità della sbarra era accresciuta di molto, l'intensità del suono era appena sopportabile. I razzi d'una ruota che gira producono la sensazione del suono per l'istessissimo principio che un bastone ardente girato in tondo dà l'impressione d'un cerchio lu-

minoso. Le vibrazioni eccitate nell' organo dell' udito da un colpo, non sono cessate quando vien dato un altro colpo. Infatti è indispensabile che le impressioni fatte sui nervi acustici si avanzino l' una sull' altra per produrre un suono pieno e continuato. Infine Savart è sceso a concludere che i suoni più acuti sarebbero uditi con tanta maggiore facilità di quelli d' un' altezza inferiore, se la durata della sensazione prodotta da ogni colpo fosse diminuita proporzionalmente all' aumento del numero dei colpi in un dato tempo; ed al contrario, se la durata della sensazione prodotta da ogni colpo fosse accresciuta in proporzione al loro numero in un dato tempo, i toni più profondi sarebbero sentiti in egual modo che ogni altro.

La velocità del suono è uniforme ed indipendente dalla natura, estensione ed intensità della prima perturbazione. Conseguentemente suoni d' ogni qualità ed altezza si propagano con eguale rapidità. La più piccola differenza nelle loro velocità è incompatibile o con l'armonia o con la melodia; perocchè note di differenti altezze ed intensità suonate insieme ad una piccola distanza arriverebbero all' orecchio in tempi differenti. Una rapida successione di note produrrebbe in questo caso confusione e disaccordo. Ma siccome la rapidità con la quale è trasmesso il suono dipende dall' elasticità del mezzo a traverso il quale deve passare, qualunque cosa tenda ad aumentare l' elasticità dell' aria, deve ancora accelerare il movimento del suono. Per questa ragione la velocità del suono è maggiore nella stagione calda che nella fredda, supponendo costante la pressione dell' atmosfera. Nell' aria secca alla temperatura del ghiaccio il suono si propaga in ragione di 1,090 piedi in un secondo, e per una temperatura più alta si deve aggiungere un piede per ogni grado del termometro sopra 32°: quindi a 62° Fahrenheit la sua velocità in un secondo è 1,120 piedi o 765 miglia all' ora; il che è circa tre quarti della velocità giornaliera dell' equatore terrestre. Poichè tutti i fenomeni della tras-

missione del suono sono semplici conseguenze delle proprietà fisiche dell'aria, essi sono stati preveduti e calcolati rigorosamente colle leggi della meccanica. Si è ritrovato però che la velocità del suono determinata dall'osservazione eccede quella che dovrebbe essere per la teoria, di 173 piedi o circa un sesto dell'intero ammontare. La Place suggerì che questa discrepanza può nascere dall'aumentata elasticità dell'aria in conseguenza d'uno sviluppo di calorico latente (N. 178) durante le ondulazioni del suono, ed il calcolo confermò l'accuratezza delle sue vedute. Le molecole aeree essendo subitaneamente compresse, mandano fuori il loro calorico latente; e siccome l'aria è un troppo cattivo conduttore del calorico per poterlo esportare abbastanza rapidamente, questo fa sì che vi sia un incremento momentaneo e locale di temperatura, il quale accrescendo l'elasticità dell'aria senza accrescere nel tempo stesso la sua inerzia, cagiona che il movimento sia propagato più rapidamente. L'analisi dà la vera velocità del suono coi termini dell'elevazione della temperatura che una massa d'aria è capace di comunicare a sè stessa per lo sviluppo del suo proprio calorico latente, se viene subitamente compressa in una data ragione. Questa mutazione di temperatura nondimeno non potè ottenersi *direttamente* per mezzo di alcuno esperimento che sia stato fatto in quel tempo; ma invertendo il problema, ed assumendo la velocità del suono come data dall'esperienza, fu calcolato che la temperatura d'una massa d'aria è inalzata 9 decimi d'un grado, quando la compressione è eguale ad $\frac{1}{116}$ del suo volume.

Probabilmente tutti i liquidi sono elastici, sebbene forze considerevoli si richieggano a comprimerli. L'acqua soffre una condensazione di quasi 0,0000496 per ogni atmosfera di pressione, ed è conseguentemente capace di trasportare il suono anche più rapidamente che l'aria, la velocità della prima essendo 4708 piedi in un secondo. Una persona sotto l'acqua sente debolmente i suoni

fatti nell' aria, ma distintissimamente quelli prodotti nell' acqua. Secondo gli esperimenti di Colladon, il suono d' una campana era trasmesso sotto l' acqua a traverso il lago di Ginevra alla distanza di circa 9 miglia. Egli osservò ancora che il progresso del suono a traverso l' acqua è molto impedito dall' interposizione d' un oggetto tale come un muro che sporga; in conseguenza il suono sotto l' acqua rassomiglia la luce, avendo un' ombra distinta. Molto meno succede questo nell' aria, essendo il suono trasmesso tutto attorno gli edifizi od altri ostacoli da potere essere udito in ogni direzione, sebbene spesso con una notabile diminuzione d' intensità, come quando una carrozza gira le cantonate d' una strada.

La velocità del suono nel passare per i solidi è in proporzione della durezza di questi, ed è molto maggiore che nell' aria o nell' acqua. Un suono che mette qualche tempo nel passare a traverso l' aria, passa quasi istantaneamente lungo un filo metallico di 600 piedi: per conseguenza esso è udito due volte: prima, comunicato pel filo; dopo, per mezzo dell' aria. La facilità colla quale le vibrazioni del suono sono trasmesse lungo le fibre d' un pezzo di legno è ben conosciuta. In fatti esse passano a traverso il ferro, il vetro, e qualche specie di legno in ragione di 18,530 piedi in un secondo. La velocità del suono è impedita da una quantità di circostanze, come dal cader della neve, dalla nebbia, dalla pioggia e da alcune altre cause che disturbano l' omogeneità del mezzo pel quale deve passare. Humboldt dice che è a motivo della maggiore omogeneità dell' atmosfera durante la notte, che i suoni sono allora meglio sentiti che durante il giorno, quando la densità dell' aria è continuamente cangiata dalle parziali variazioni di temperatura. La sua attenzione fu richiamata su questo soggetto nel piano che circonda la Missione delle Apures, dal rumore che si parte dalle grandi cateratte dell' Orenoco, il quale sembrava tre volte

più forte di notte che di giorno. E questo è da lui illustrato per mezzo dell'esperimento. Un alto bicchiere mezzo pieno di *champagne* non si può far risuonare sin che dura l'effervescenza. Per produrre una nota musicale, il bicchiere insieme col liquido che vi è contenuto, deve vibrare all'unisono come un sistema; il che non può succedere a motivo dell'aria che s'innalza a traverso il vino e che disturba la omogeneità sua; perchè le vibrazioni del gas essendo molto più lente che quelle del liquido, la velocità del suono è continuamente interrotta. Per la stessa ragione la trasmissione del suono come quello della luce è impedita nel passare a traverso un'atmosfera di variabile densità. Herschel nel suo stupendo trattato sul suono, così spiega il fenomeno: « È cosa ben conosciuta, egli dice, che il suono come la luce deve essere impedito, soffocato, distolto dalla sua originale direzione, per la miscela di aria di differente temperatura e conseguentemente di elasticità differente, e così la causa medesima che produce quell'estrema trasparenza dell'aria notturna che solo gli astronomi pienamente possono apprezzare, la rende ancora più favorevole al suono. Non vi è dubbio, nondimeno, che il silenzio universale e di morte, generalmente prevalente la notte, rende i nostri nervi acustici sensibili alle impressioni che altrimenti non perciperemmo. L'analogia fra suono e luce è perfetta in questo, come sotto molti altri rispetti. Nella luce diretta diurna le stelle scompariscono: nel continuo ronzio delle voci che è sempre crescente nel giorno e che ci arriva da tutti le parti e non lascia mai all'orecchio il tempo di avere una compita tranquillità, que' deboli suoni che colpiscono la nostra attenzione di notte, non fanno impressione. L'orecchio come l'occhio richiede riposo prolungato e perfetto onde avere la sua maggiore sensibilità. »

Molti esempi possono citarsi in prova della forza e chiarezza colla quale il suono passa sopra la superficie

dell'acqua o del ghiaccio. Forster potè intrattenere una conversazione a traverso Port Bowen Harbour, quando era gelato, ad una distanza d'un miglio e mezzo.

La intensità del suono dipende dall'estensione dell'escursioni delle molecole fluide, dall'energia delle passeggere condensazioni e rarefazioni, e dalla più o meno grande quantità delle particelle che soffrono quegli effetti. Noi apprezziamo la intensità per l'impeto di queste molecole fluide sopra i nostri organi, il quale impeto è per conseguenza come il quadrato della velocità, e non per la loro inerzia, che sta come la semplice velocità. Se fosse quest'ultimo caso, non vi sarebbe suono, perchè l'inerzia delle onde aeree che retrocedono, distruggerebbe l'eguale ed opposta inerzia di quelle che avanzano: quindi si può concludere che l'intensità del suono diminuisce inversamente come il quadrato della distanza dalla sua origine. In un tubo nondimeno, la forza del suono non decade come nell'aria aperta, se non fosse forse per l'attrito contro i lati. Biot ritrovò in seguito a un numero di esperimenti d'alta importanza fatti in tubi d'acquedotti a Parigi, che una continuata conversazione potrebbe essere mantenuta nel più basso bisbiglio, entro un tubo cilindrico lungo circa 3120 piedi, essendo il tempo richiesto pella trasmissione in quello spazio 2'79 secondi. Nella maggior parte dei casi il suono diverge in tutte le direzioni come se occupasse ad un solo tempo una superficie sferica: Young però ha dimostrato che vi sono delle eccezioni, come per esempio, quando una superficie piana vibra solo in una direzione. Il suono è più intenso quando l'orecchio posa perpendicolarmente ad angoli retti alla superficie, mentre è appena udibile in una direzione precisamente perpendicolare all'orlo della stessa. In questo caso è impossibile che la massa intera dell'aria circostante possa essere impressionata nel modo stesso, poichè le particelle sotto la superficie sonora devonsi muovere verso la medesima ogni volta che le particelle su-

perficiali se ne allontanano. Quindi in una metà della sfera aerea circondante, i movimenti sono retrogradi, mentre nell'altra metà sono diretti; conseguentemente agli orli dove queste due porzioni s' incontrano, i movimenti dell'aria non saranno nè retrogradi nè diretti, e per ciò essa deve stare in riposo.

Appare dalla teoria come dalla giornaliera esperienza, che il suono è capace di riflessione sopra le superfici, (N. 179) secondo le leggi medesime della luce. Infatti chi abbia osservato la riflessione delle onde da un muro sul fianco d'un fiume dopo il passaggio d'un battello a vapore, avrà una perfetta idea della riflessione del suono e della luce. Siccome ogni sostanza in natura è più o meno elastica, dessa può essere agitata conformemente alla propria legge per l'impulso d'una massa d'aria ondeggiante, e reciprocamente la superficie per la sua reazione comunicherà le sue ondulazioni retrograde nell'aria. Queste riflessioni producono l'eco: e siccome una serie delle stesse può aver luogo tra due o più ostacoli, ognuno di questi cagionerà un eco del suono originale, che diventa più e più debole, sino a che svanirà affatto, perchè il suono come la luce s' indebolisce per la riflessione. Se la superficie riflettente fosse concava verso una persona, il suono convergerebbe verso la stessa con intensità aumentata, che diventerà ancora maggiore se la superficie è sferica e concentrica colla persona. Le ondulazioni del suono divergendo da un fuoco d'un guscio ellittico (N. 180), convergono nell'altro fuoco dopo la riflessione. Conseguentemente un suono che proviene da un fuoco sarà udito nell'altro come se fosse vicino all'orecchio. Il prolungato rumore del tuono è stato attribuito alla riverberazione tra differenti nubi, ciò che è possibile fino ad un certo punto. J. Herschel è d'opinione che un rumore di tuono intensamente prolungato è probabilmente dovuto alla combinazione di parecchi suoni, a motivo che la velocità dell'elettricità essendo incomparabil-

mente maggiore che quella del suono, il tuono può essere riguardato siccome quello che deriva in ogni punto d'un baleno all'istante stesso. Il suono dal punto più vicino arriverà prima, e se il lampo scorre in linea retta verso una persona, il rumore arriverà sempre più tardi dai punti più remoti del suo corso producendo un rumore continuato. Se la direzione del lampo è inclinata, la successione degli scoppi sarà sempre più rapida ed intensa; e se il baleno descrive una curva circolare attorno la persona, il romore arriverà da ogni punto al medesimo istante con uno colpo intronante. In simile modo i rumori sotterranei, uditi durante i terremoti come tuoni distanti, possono derivare dall'arrivo consecutivo all'orecchio delle ondulazioni propagate all'istante istesso dai più vicini e dai più remoti punti: se esse hanno origine dallo stesso punto, il suono può arrivare per differenti vie a traverso gli strati di differenti densità. I suoni sotto l'acqua sono uditi distintissimamente nell'aria che sta immediatamente sopra: ma la intensità diminuisce con grande rapidità come l'osservatore se ne va più lontano, ed è affatto inudibile alla distanza di 2 o 300 *yarde*. Così che, le onde sonore, come quelle della luce, nel passare da un mezzo denso ad un rarefatto, non solo sono rifratte, ma soffrono una totale riflessione ad ogni incidenza fosse anche obliquissima (N. 189).

Le leggi dell'interferenza si estendono ancora al suono. È chiaro che due corde musicali eguali e simili suoneranno all'unisono, se esse comunicano lo stesso numero di vibrazioni all'aria nel tempo stesso. Ma se queste due corde siano così prossime all'unisono che una compia cento vibrazioni in un secondo, e l'altra cent'una nel periodo stesso, durante le prime vibrazioni i due suoni risultanti si combineranno a formarne uno dell'intensità d'ambedue, perchè le onde aeree coincideranno sensibilmente di tempo e luogo, ma una guadagnerà gradatamente sull'altra, sino a che alla 50ma vibrazione

essa sarà d'una mezza oscillazione in avanti. Allora le onde dell'aria che producono il suono, essendo sensibilmente eguali, essendo la parte retrograda dell'una coincidente con la parte che avanza dell'altra, si distruggeranno scambievolmente, e cagioneranno un istante di silenzio. Il suono sarà rinnovato immediatamente dopo, e crescerà gradatamente sino alla 100ma vibrazione, quando le due onde si combineranno a produrre un suono doppio in intensità dell'uno o dell'altro. Questi intervalli di silenzio e di massima intensità, chiamati note, avverranno ogni secondo; ma se le note differiscono molto l'una dall'altra, le alterazioni si rassomiglieranno ad un rumore, e quando le corde sono in un perfetto unisono, non vi saranno note, poichè non vi saranno interferenze. Così per interferenza s'intende la coesistenza di due ondulazioni nelle quali la lunghezza dell'onde sono le stesse. E siccome la grandezza di una ondulazione può essere diminuita dall'addizione d'un'altra trasmessa nella stessa direzione, ne segue che un'ondulazione può essere assolutamente distrutta da un'altra, quando le onde della stessa lunghezza sono propagate nella stessa direzione, purchè i massimi delle ondulazioni siano eguali, e che l'una segua l'altra per la metà della lunghezza di un'onda. L'istromento per intuonare somministra un esempio d'interferenza. Quando questo istromento vibra, i suoi due bracci alternativamente recedono e s'accostano reciprocamente: ognuna comunica le sue vibrazioni all'aria, ed una nota musicale n'è la conseguenza. Se l'istromento è tenuto ritto circa un piede dall'orecchio, e mentre vibra gira attorno il suo asse, ad ogni quarto di rivoluzione il suono è appena sentito, mentre ai punti intermedi sarà forte e chiaro. Questo fenomeno nasce dall'interferenza delle ondulazioni aeree provenienti dalle due braccia del corista. Quando queste coincidono, cioè quando sono ad egual distanza dall'orecchio, le onde dell'aria si combinano a rinforzarsi a vicenda; ma ai

quadranti dove i due bracci sono a distanze disuguali dall'orecchio, le lunghezze delle onde differiscono per una mezza ondulazione, e conseguentemente si distruggono l'una l'altra.

SEZIONE XVII.

Vibrazione delle corde musicali — Suoni armonici — Nodi — Vibrazioni dell'aria negli istromenti a vento — Vibrazione dei solidi — Lastre vibranti — Campane — Armonia — Tavole armoniche — Vibrazioni sforzate — Risuonanza — Macchine parlanti.

Quando le particelle de' corpi elastici sono subitaneamente disturbate da un impulso, esse ritornano alla loro posizione naturale per una serie di vibrazioni isocrone, la cui rapidità, forza e permanenza dipendono dall'elasticità, dalla forma e dal modo d' aggregazione che unisce le particelle del corpo. Queste oscillazioni vengono comunicate all'aria, ed a motivo dell'elasticità di questa, esse eccitano alternative condensazioni e dilatazioni negli strati del fluido più prossimi al corpo in vibrazione, da dove sono propagate ad una certa distanza. Una corda od un filo di metallo steso tra due perni, quando vien tirato da un lato e subitaneamente lasciato andare, vibrerà sino a che la sua rigidità e la resistenza dell'aria lo riconducano al riposo. Queste oscillazioni possono essere rotatorie in ogni piano, o confinate ad un piano, secondo che il moto viene comunicato. Nel piano-forte, dove le corde sono colpite da un martelletto ad una estremità, le vibrazioni consistono probabilmente in un gonfiore che scorre su e giù da un capo all'altro. Differenti modi di vibrazioni possono ottenersi dallo stesso corpo sonoro. Suppongasi che una corda vibrante dia il *do* più basso del piano-forte che è la nota fondamentale della corda; se questa è leggermente toccata con esattezza nel mezzo così, che

questo punto resti in riposo, ogni metà allora vibrerà due volte così presto di quello che avrebbe fatto la corda intera, ma in opposte direzioni: i segmenti ventrali o gonfianti saranno alternativamente sotto e sopra la posizione naturale della corda, e la risultante nota sarà l'ottava sopra il detto *do*. Quando un punto al terzo della lunghezza della corda è tenuto in riposo, le vibrazioni saranno tre volte così celeri che quelle di tutta la corda, e daranno la 12ma sopra il *do* fondamentale. Se il punto di riposo è un quarto di tutta, le oscillazioni saranno quattro volte così celeri che quelle della nota fondamentale, e si avrà la doppia ottava, e così via via discorrendo. Questi suoni acuti ottenuti nell'antecedente modo sono chiamati gli armonici della nota fondamentale. È chiaro da ciò che si è detto, che la corda che così vibra non potrebbe dare questi suoni armonici spontaneamente, a meno che si divida nelle sue parti aliquote in due, tre, quattro, o più segmenti in opposti stati di vibrazione, separati da punti attualmente in riposo. A prova di ciò alcuni pezzi di carta situati sulla corda alla metà, al terzo, al quarto o ad altre parti aliquote secondo il corrispondente suono armonico, vi rimarranno sopra durante le vibrazioni della corda, ma fuggiranno via subito da qualunque altro punto intermedio. I punti di riposo chiamati i punti nodali della corda, sono una pura conseguenza della legge dell'interferenza. Perchè se una corda fermata ad un capo vien messa giù, e su dall'altro, in modo da trasmettere una successione di onde eguali lungo la medesima, esse saranno successivamente riflesse, quando arrivano all'altro capo della corda dal punto fisso, e nel ritorno occasioneranno delle interferenze colle onde che s'avanzano; e siccome queste opposte ondulazioni saranno a certi punti distrutte l'una dall'altra, il punto della corda nel quale questo accade sarà rimasto in riposo. Così una serie di nodi e di segmenti ventrali si produrrà, il cui numero dipenderà dalla ten-

sione e dalla frequenza dei moti alternativi comunicati al capo mobile. Così, quando una corda fissa ai due capi è posta in moto per un subitaneo colpo ad un qualche punto di essa, il primitivo impulso dividesi in due impulsi che percorrono opposte vie, dei quali ciascuno è totalmente rimandato all' estremità, e scorrendo indietro di nuovo la intera lunghezza, sono di nuovo riflessi agli altri capi. E così continueranno a scorrere indietro e avanti, incrociandosi l' un l' altro ad ogni traversata, e all' occasione interferendosi in modo da produrre i nodi: quindi il movimento d' una corda fermata ad ambedue i capi consiste di un' onda continuatamente addoppiata indietro su di sè stessa per riflessione alle estremità fisse.

I suoni armonici coesistono generalmente col suono fondamentale nello stesso corpo vibrante. Se una delle corde più basse del piano è colpita, un orecchio attento non solo udirà la nota fondamentale, ma scoprirà ancora tutte le altre che risuonano insieme con essa, sebbene con intensità sempre più piccola, quanto più grande sarà la loro acutezza. Secondo la legge delle ondulazioni coesistenti, tutta la corda ed ognuna delle sue parti aliquote sono in stati differenti ed indipendenti di vibrazione al tempo stesso; e siccome tutte le note che risultano sono udite simultaneamente, non solo l' aria, ma l' orecchio ancora vibra all' unisono con ciascuna ed al medesimo tempo (N. 181).

L' armonia consiste in un' aggradevole combinazione di suoni. Quando due corde fanno le loro vibrazioni nello stesso tempo, sono all' unisono: ma quando le vibrazioni così si riferiscono tra loro che hanno un periodo comune, dopo poche vibrazioni esse producono la consuonanza. Così quando le vibrazioni di due corde portano una semplicissima relazione l'una coll'altra, come quando una di esse fa due, tre, quattro ec. vibrazioni nel tempo che l' altra ne fa una; o se una fa tre, quattro vibrazioni ec. mentre l' altra ne fa due, il risultato

è un accordo, che è più perfetto, più corto che non sia il periodo comune. Nelle dissonanze, al contrario, i colpi si sentono distintamente ; il che produce un effetto disgustoso ed aspro a motivo delle vibrazioni che non portano una semplice relazione l'una coll'altra, come quando una delle due corde fa otto vibrazioni, mentre l'altra ne fa 15. Il piacere somministrato dall'armonia, è attribuito dal dottor Young all'amore dell'ordine e alla predilezione per una regolare ripetizione delle sensazioni, naturale all'umana mente, che si compiace della regolarità perfetta e della rapida ripetizione delle vibrazioni. L'amore alla poesia e alla danza, lo stesso Young crede che derivi in qualche modo dal ritmo dell'una e dalla regolarità dei moti nell'altra.

Un soffio d'aria che attraversa l'estremità aperta di un tubo come nella canna di una zampogna, per un buco laterale come nel flauto, o per l'apertura chiamata bocchino con linguetta flessibile come nel clarinetto, mette l'interna colonna dell'aria in vibrazioni longitudinali per le alternative condensazioni e rarefazioni delle particelle di essa. Al tempo stesso la colonna spontaneamente si divide in nodi, tra i quali l'aria ancora vibra longitudinalmente, ma con una rapidità inversamente proporzionale alla lunghezza delle divisioni, dando la nota fondamentale od una delle sue armoniche. I nodi sono prodotti sul principio delle interferenze dalla riflessione delle ondulazioni longitudinali dell'aria all'estremità del tubo, come nelle corde musicali, se non che in un caso le ondulazioni sono longitudinali, e nell'altro traversali.

Un tubo aperto o chiuso alle due estremità, quando è suonato, vibra intieramente o si divide spontaneamente in due, tre ec. segmenti separati dai nodi. La colonna intera dà la nota fondamentale per onde o vibrazioni della stessa lunghezza del tubo. Il primo suono armonico è prodotto dalle onde lunghe metà del tubo, il secondo armonico dalle onde del terzo del tubo,

e così via discorrendo. I segmenti armonici in un tubo aperto e chiuso sono gli stessi in numero, ma differentemente situati. In un tubo chiuso le due estremità sono nodi, ma in uno aperto vi è un mezzo segmento ad ogni estremità, perchè l'aria in questi punti non è rarefatta nè codensata, essendo in contatto con l'esterna. Se una dell'estremità del tubo aperto viene chiusa, la sua nota fondamentale sarà un'ottava più bassa: l'aria allora si dividerà in 3, 5.7 ec. segmenti; e l'onda che produce la sua nota fondamentale sarà due volte lunga quanto il tubo, così che verrà raddoppiata indietro (N. 182). Tutte queste note possono essere prodotte separatamente, variando l'intensità del soffio. Soffiando costantemente e delicatamente, suonerà la nota fondamentale; quando la forza del soffio sia accresciuta, la nota s'innalzerà all'ottava tutta in una volta; se l'intensità del soffio è aumentata, sarà udita la 12.ma, e continuando ad accrescere la forza del soffio, gli altri suoni armonici si potranno ottenere, ma nessuna forza di vento produrebbe una nota intermedia tra loro. I suoni armonici di un flauto si possono ottenere in questa maniera dal più basso *do* o *re* all'insù senza cambiare la digitazione, puramente accrescendo la intensità del soffio e alterando la forma delle labbra. I tubi delle dimensioni stesse o di piombo o vetro o legno danno lo stesso tono quanto all'altezza sotto le stesse circostanze; il che mostra che l'aria sola produce il suono.

Le molle di metallo fermate ad un capo, quando siano fortemente inclinate, cercano di ritornare al riposo per una serie di vibrazioni che danno dei toni piacevolissimi, come nelle scatole musicali. Sono stati di recente fabbricati vari istrumenti musicali, che consistono di molle metalliche, messe in vibrazioni per mezzo di correnti d'aria. Tra i più perfetti, sono i Symphonion di Wheatstone, i Concertini e gli Organi Eolici, istromenti di effetti diversi e di differenti capacità, ma tutti posseggono esecuzione ed espressione notevoli.

La Sirena è un ingegnoso istrumento, inventato da Cagniard de la Tour, per accertarsi del numero delle pulsazioni in un secondo, corrispondente ad ogni tuono: le note sono prodotte da getti d'aria che passano per alcune piccole aperture, disposte a regolari distanze in un cerchio sul lato di una scatola, davanti la quale gira un disco forato d'altrettanti buchi. Durante una rivoluzione del disco le correnti sono alternativamente intercettate e lasciate passare tante volte quante vi sono aperture nel disco, e vien prodotto un suono la cui altezza dipende dalla velocità di rotazione. — Una verga di vetro o di metallo se viene colpita ad una estremità o stropicciata nella direzione della sua lunghezza con un dito umido, vibra longitudinalmente come una colonna d'aria per l'alterata condensazione ed espansione delle sue particelle costituenti, producendo una chiara e bella nota musicale di un tuono alto, a motivo della rapidità colla quale queste sostanze trasmettono il suono. Le verghe, le superfici, e in generale tutti i corpi ondulatorii si dividono in nodi; ma nelle superfici, le parti che rimangono in riposo durante le vibrazioni, sono linee curve o piane secondo la sostanza, la forma ed il modo di vibrazione. Se un poco di fina sabbia secca venga sparsa sopra la superficie d'una lastra di vetro o di metallo, e se le ondulazioni sieno eccitate strisciando un arco di violino sopra l'orlo, la superficie manderà un suono e la sabbia immediatamente si ordinerà nelle linee nodali, dove soltanto la sabbia si accumulerà e starà in quiete perchè i segmenti della superficie da ogni lato saranno in stati differenti di vibrazione, l'uno essendo alzato, mentre l'altro è depresso, e siccome questi due movimenti s'incontrano nelle linee nodali, essi si neutralizzano a vicenda. Queste linee variano in forma e posizione secondo la parte dove l'arco è strisciato ed il punto pel quale il piatto è tenuto. Il movimento dell'arena mostra in qual direzione succedano le vibra-

zioni. Se sono perpendicolari alla superficie, l'arena violentemente salterà in senso verticale sino a che ritrovi il punto di riposo. Se sono tangenziali, l'arena striscerà solo lungo la superficie verso le linee nodali. Qualche volta le ondulazioni sono oblique o composte delle due precedenti. Se un arco è strisciato sopra uno degli angoli di una lastra quadrata di vetro o di metallo tenuta ferma nel centro, l'arena si ordinerà in due linee rette parallele ai lati della lastra, ed incrociandosi nel centro in modo da dividersi in quattro quadrati eguali, i cui movimenti saranno contrari l'uno all'altro. Due dei quadrati diagonali faranno le loro escursioni in un lato della lastra, mentre gli altri due faranno le loro vibrazioni sull'altro lato della stessa. Questo modo di vibrazione produce il tono più basso della lastra (N. 183). Se la lastra sarà tenuta ancora pel centro e l'arco applicato alla metà dell'uno dei lati, le vibrazioni saranno più rapide e il suono sarà una quinta più alta che nel caso precedente: ora la sabbia si ordinerà da un angolo all'altro e dividerà la lastra in quattro triangoli eguali, ogni paio de' quali farà le sue vibrazioni sugli opposti lati della lastra. Le linee nodali e l'altezza del suono variano non solo col punto dove l'arco è applicato, ma col punto dove la lastra è tenuta, perchè essendo in riposo determina necessariamente la direzione di una delle linee quiescienti. Le forme prese dall'arena nelle lastre quadre sono in gran numero, e corrispondenti a tutti i varii modi di vibrazione. Le linee nelle lastre circolari sono anche più rimarchevoli per la loro simmetria, e sopra di esse le forme prese dall'arena possono essere classificate in tre sistemi. Il primo è il diametrale, in cui le figure si compongono di diametri che dividono la circonferenza della lastra in parti eguali, ciascuna delle quali è in uno stato differente di vibrazione dall'adiacente. Due diametri, per esempio, incrociandosi ad angoli retti, dividono le circonferenze in quattro parti eguali: tre diametri la

dividono in sei parti eguali; quattro la dividono in otto, e così via discorrendo. In una lastra di metallo queste divisioni possono ammontare a trentasei a quaranta. L'altro è il sistema concentrico dove la sabbia si ordina in circoli che hanno lo stesso centro con la lastra; ed il terzo è il sistema dove le figure dell' arena sono composte di quelle dei primi due, producendo forme complicatissime e bellissime. Sembra che Galileo sia stato il primo ad indicare i punti di riposo e di movimento della tavola armonica d'uno strumento musicale: ma a Chladni è dovuta tutta la scoperta delle forme simmetriche delle linee nodali sulle lastre vibranti (N. 184). Weatstone ha dimostrato in una Memoria letta davanti la Società Reale nel 1833, che tutte le figure di Chladni ed in realtà tutte le figure nodali delle superfici vibranti risultano da semplicissimi modi di vibrazioni che oscillano in tempi isocroni e che si soprappongono l' une alle altre; le figure risultanti variando coi modi composti di vibrazione, col numero delle soprapposizioni e cogli angoli coi quali esse sono soprapposte. Per esempio, se una lastra vibra in modo che l' arena si ordini in linee rette parallele ad un lato della lastra, e se di più tali vibrazioni si eccitano in maniera da produrre che la sabbia si disponga in linee perpendicolari alle prime se la lastra fosse stata in riposo, le vibrazioni combinate faranno sì che la sabbia si ponga in linee dirette da un canto all' altro (N. 185).

Gli esperimenti di Savart sulle vibrazioni dei regoletti piatti di vetro, sono d' altissima importanza. Si abbia una lamina di vetro lunga 27,$^{poll.}$ 56, larga 0,59, grossa 0,06, tenuta per gli orli nel mezzo con la sua superficie piatta orizzontale. Se questa superficie sia cosparsa d'arena e messa in vibrazioni longitudinali, fregando la sua superficie con un panno umido, l' arena sulla superficie si ordinerà in linee parallele all' estremità della lamina, sempre nell' uno o nell' altro dei due siste-

mi (N. 186). Sebbene l' istesso dei due sistemi sarà sempre prodotto dalla stessa lamina di vetro, pure tra differenti lamine delle precedenti dimensioni ancorchè tagliate dal medesimo pezzo canto a canto, l' una invariabilmente presenterà un sistema, e l' altra l'altro, senza una ragione visibile della differenza. Ora se le posizioni di queste linee quiescenti siano notate sulla parte superiore, e se la lamina sia girata in modo che la superficie inferiore diventi la superiore, la sabbia essendo sparpagliata e le vibrazioni eccitate come prima, le linee nodali continueranno a essere parallele all' estremità delle lamine, ma le loro posizioni saranno intermedie fra quelle della superficie superiore (N. 187). Così apparisce che tutti i movimenti d' una metà della grossezza della lamina o del regolo sono esattamente contrari a quelli dei punti corrispondenti dell' altra metà. Se la grossezza della lamina sia accresciuta, le altre dimensioni rimanendo le stesse, il suono non varierà, ma il numero delle linee nodali sarà sempre minore. Quando la larghezza della lamina eccede 0,6 d' un pollice, le linee nodali diventano curve e sono differenti sulle due superfici. Una grande varietà di forme vien prodotta dall'aumento della larghezza e dal cangiamento della superficie, ma in tutte apparisce che i movimenti in una metà della grossezza sono opposti a quelli dell' altra metà.

Savart ritrovò ancora, mettendo piccoli anelli di carta sopra un tubo cilindrico o una verga in modo da starvi sopra in un punto solo, che se il tubo o la verga è continuamente girata sul suo asse nella stessa direzione, gli anelli sdrucciolano lunghesso durante le vibrazioni sino a che arrivino al punto quiescente, dove essi si fermano. Tracciando queste linee nodali egli ha scoperto ch' esse s' intrecciano in una spirale attorno le verghe ed i cilindri, facendo uno o più giri secondo la lunghezza : ma a certi punti, differenti in numero secondo il modo di vibrazione della verga, la spirale si ferma e ricomincia

dall' altro lato, sebbene sia girata in un senso contrario, cioè in un lato è una spirale diretta a diritta, nell' altro a sinistra (N. 188). Le linee nodali nell' interna superficie del tubo sono perfettamente simili a quelle dell' esterna: se non che occupano le posizioni intermedie. Se una piccola palla d'avorio sia posta dentro il tubo, seguirà queste linee nodali quando il tubo vien fatto rivolgere sul suo asse.

Tutti i solidi che suonano quando vengono colpiti, come campane, bicchieri ec., hanno la loro figura momentaneamente e forzatamente cangiata per il colpo, e per la loro elasticità o tendenza a riassumere la loro forma naturale ha luogo una serie di ondulazioni dovuta all' alternative condensazioni e rarefazioni delle particelle materiali solide. Essi hanno pure i loro toni armoniosi, e per conseguenza i nodi. Infatti, generalmente quando un sistema rigido d' una forma qualunque vibra o lateralmente o longitudinalmente, si divide in un certo numero di parti che compiscono le loro vibrazioni senza disturbarsi l' un l'altra. Queste parti sono ad ogni istante in istati alternativi di ondulazione; e siccome i punti o le linee dove si riuniscono, partecipano d' ambedue, esse si rimangono in riposo, perchè i movimenti opposti distruggonsi a vicenda.

L' aria, nonostante la sua poca densità, è capace di trasmettere le sue ondulazioni, quando è in contatto con un corpo suscettibile di ammetterle ed eccitarle. È così, che ondulazioni simpatiche sono eccitate da un corpo vibrante vicino alle corde tese isolate, capaci di seguirne le ondulazioni o vibrando intiere o separate nelle armoniche divisioni. Se due corde egualmente tese, delle quali l' una è due o tre volte più lunga che l' altra, sono messe accanto, e se la più breve è suonata, le sue vibrazioni saranno comunicate per l' aria all' altra, che sarà messa in tale stato di vibrazione che spontaneamente si dividerà in segmenti eguali di lunghezza alla corda più breve. Quando un corista riceve un colpo e si

mette sopra un pianoforte, durante le sue vibrazioni ogni corda che o per la sua naturale lunghezza o per le sue spontanee divisioni è capace di fare vibrazioni conformi, risponde con una nota simile. Lo stesso effetto si produrrà con un colpo di bicchiere vicino a un pianoforte o un'arpa. O l'una o l'altra delle note di un organo sono generalmente in unisono con uno dei quadrelli o con l'intera invetriata di una finestra che in conseguenza risuona quando tali note sono suonate. Uno scoppio di tuono ha di sovente l'effetto stesso. Il suono di tubi assai larghi di un organo è generalmente inaudibile sino a che l'aria sia posta in movimento dalle ondulazioni di alcuni degli accordi superiori; ed allora il suo suono diventa estremamente energico. Delle vibrazioni ricorrenti accidentalmente influiscono sui periodi di altre. Per esempio, due canne d'organo adiacenti quasi all'unisono possono mettersi all'accordo; e due orologi, il cui movimento differiva assai quando erano separati, si sono sentiti battere d'accordo quando erano sospesi allo stesso muro, e l'uno ha forzato il pendolo dell'altro al movimento quando solo posavano sull'istesso pavimento di pietra. Queste oscillazioni forzate che corrispondono nei loro periodi con quelli della causa eccitatrice, si possono indicare in ogni parte delle scienze fisiche. Se ne sono indicati già molti esempi in questo lavoro. Tali sono le maree che seguono il sole e la luna in tutti i loro movimenti e periodi. Anche la nutazione dell'asse della terra, che corrisponde col periodo e rappresenta il movimento dei nodi della luna, è di nuovo riflessa indietro alla luna e può essere tracciata nella nutazione della orbita lunare; e finalmente l'accelerazione del movimento medio della luna rappresenta l'azione dei pianeti sulla terra riflessa dal sole alla luna.

In conseguenza della facilità con la quale l'aria comunica le ondulazioni, tutti i fenomeni delle lastre vibranti possono essere presentati dalla sabbia sparpagliata

sopra carta o pergamena distesa su d'un vetro armonico o sopra un largo bicchiere. A fine di dare la dovuta tensione alla carta o pergamena, queste devono essere bagnate, stirate sul vetro, gommate attorno gli orli, lasciate asciugare, ed inverniciate di sopra, per prevenire i cangiamenti nella tensione cagionati dalla umidità dell'atmosfera. Se un disco circolare di vetro è tenuto concentricamente su questo apparecchio co'suoi piani paralleli alla superficie della carta e messo in vibrazione tirando un archetto da violino sopra gli orli, in modo che l'arena sulla superficie sparpagliatavi prenda alcuna delle figure di Chladni, l'arena sulla carta prenderà la forma stessissima in sequela delle vibrazioni del disco che sono comunicate alla carta per mezzo dell'aria. Quando il disco è allontanato lentamente in una direzione orizzontale le forme sulla carta corrisponderanno a quelle sul disco sino a che la distanza non sia troppo grande per propagare le vibrazioni per mezzo dell'aria. Se il disco mentre vibra è gradatamente più e più inclinato all'orizzonte, le figure sulla carta varieranno progressivamente, e quando il disco vibrante è perpendicolare all'orizzonte, l'arena sulla carta si formerà in linee parallele alla superficie del disco saltellando lungo di esso, invece di ballare perpendicolarmente al piano. Se il disco si fa girare attorno il suo diametro verticale, mentre vibra, le linee nodali sulla carta gireranno, ed esattamente seguiranno il movimento del disco. Si vede da questo esperimento che i movimenti delle molecole aeree in ogni parte di un'onda sferica propagata da un corpo vibrante come da un centro, sono paralleli l'uno all'altro e non divergenti come i raggi d'un cerchio. Quando un'aria lenta è suonata su di un flauto vicino a quest'apparecchio, ogni nota richiama una forma particolare nell'arena, che la nota susseguente cancella per stabilirvi la propria. Il movimento dell'arena scuoprirà anche i suoni che non si sentono. Per le vibrazioni dell'arena sopra un tamburo, gli assediati hanno scoperto

la direzione nella quale era da farsi una contro-mina. Savart, che fece questi belli esperimenti, usava un tale apparecchio a scoprire le linee nodali nelle masse d'aria. Egli ritrovò che l'aria di una camera, quando sia messa in ondulazioni col suono continuato di una canna d'organo o per altro mezzo, si divide in masse separate da curve nodali di doppia curvatura come spirali, in ogni lato delle quali l'aria è in istati opposti di vibrazione. Savart ha pure tracciato le linee quiescenti che sortono da una finestra aperta e per notabile distanza nell'aria libera di fuori. L'arena è violentemente agitata dove le ondulazioni dell'aria sono le massime, e rimane quieta nelle linee nodali. Lo stesso Savart osservava, che quando egli moveva la testa da una linea quiescente verso dritta, il suono appariva venire da dritta, e quando la moveva a sinistra, il suono sembrava venire da sinistra, perchè le molecole dell'aria sono in differenti stati di movimento da ogni lato delle linee di riposo.

Una corda musicale dà un suono debolissimo quando vibra sola, a motivo della piccola quantità d'aria messa in movimento, ma quando è attaccata alla tavola armonica come in un'arpa o pianoforte, essa comunica le sue ondulazioni a quella superficie, e da questa ad ogni parte dello stromento; così che tutto il sistema vibra a tempi eguali, ed esponendo una estesa superficie vibrante che trasmetta le ondulazioni ad una gran massa d'aria, il suono è molto rinforzato. L'intensità è massima, quando le vibrazioni della corda o del corpo sonoro sono perpendicolari alla tavola armonica, e meno, quando sono nello stesso piano. La cassa armonica di un pianoforte è meglio disposta che quella d'alcun altro strumento a corde, perchè i martelli battono le corde in modo da farle vibrare ad angoli retti con quella. Nella chitarra al contrario, le corde sono percosse obliquamente; il che rende il suono debole, a meno che i lati non siano profondi, perchè

essi pure agiscono come la cassa armonica. È evidente che questa e tutto l'istromento sono agitati ad una volta da tutte le sovrapposte vibrazioni eccitate dalle note simultanee o successive che sono sonate, avendo ciascuna il suo effetto completo indipendentemente dal resto. Un piano armonico non solo rende i differenti gradi del suono, ma tutte le diverse qualità di tono. Questo è stato molto bene dimostrato da Wheatstone in una serie di esperimenti sulla trasmissione di musicali composizioni per mezzo di conduttori solidi, dal piano, arpa, violino, clarino ec. Egli ritrovava che tutte le varietà di altezza, qualità ed intensità sono perfettamente trasmesse con le relative gradazioni, e possono essere comunicate per mezzo di fili metallici conduttori o verghe molto lunghe ad una tavola armonica ben disposta in un appartamento distante. I suoni d'un' orchestra intiera possono essere trasmessi e resi all' orecchio, unendo un capo d'una verga metallica in contatto con una tavola armonica vicino all' orchestra e situata in modo che risuoni con tutti gli stromenti, e l'altro capo in contatto con la cassa armonica di un'arpa, di un piano o di una chitarra in un appartamento remoto. Wheatstone osserva: « L'effetto di questo esperimento è piacevolissimo: i suoni invero hanno così poca intensità, da essere appena uditi a distanza, ma mettendo l'orecchio vicino all' istromento che rende il suono, si ode un' orchestra in diminutivo, dove tutti gli strumenti conservano le distinte loro qualità, ed i piani e i forti, i crescendo e i diminuendo, e i loro relativi contrasti. Paragonata con un' orchestra ordinaria udita a distanza per mezzo dell' aria, l'effetto è come d'un paesaggio veduto in miniatura a traverso una lente concava, paragonato con la scena stessa veduta colla vista naturale a traverso una fosca atmosfera. »

Ognuno conosce il rinforzo del suono per la risuonanza delle cavità. Quando si parla o si canta vicino l'apertura d'un vaso di larga bocca, l'intensità di una nota all'uni-

sono con l' aria nella cavità è spesso accresciuta ad un alto grado. Un vaso risuonerà, se un corpo che vibra la nota naturale della cavità, sia situato davanti al suo orifizio e sia largo abbastanza per coprirlo o almeno per mettere una porzione dell' aria adiacente in movimento. Perocchè il suono sarà alternativamente riflesso dal fondo della cavità e dal corpo ondulatorio alla sua bocca. Il primo impulso della sostanza ondulante sarà riflesso dal fondo della cavità, e quindi dal corpo ondulante, in tempo da combinare col secondo un nuovo impulso. Questo suono rinforzato sarà riflesso ancora due volte in tempo da cospirare col terzo nuovo impulso; e siccome lo stesso processo sarà ripetuto ad ogni nuovo impulso, ciascuno si combinerà con tutti gli echi suoi per rinforzare prodigiosamente il suono. Wheatstone, al cui ingegno siamo debitori di così nuova e pregevole cognizione sulla teoria del suono, ha dato alcuni esempi sorprendentissimi della risuonanza. Se una delle branche d' un corista vibrante viene portata in vicinanza dell' imboccatura d' un flauto, le cui aperture laterali sieno turate in modo da renderlo capace di produrre il suono del corista, questo suono debole e appena sensibile sarà aumentato dalla grande risuonanza della colonna d' aria dentro il flauto, e il tono sarà pieno e chiaro. Però si ritroverà il suono molto decrescere chiudendo o aprendo un' altra apertura, perchè l' alterazione nella lunghezza della colonna aerea non la rende capace più di trasmettere perfettamente il suono del corista. Questo esperimento può essere fatto sopra un flauto accordato con un corista in *do*. Ma Wheatstone osserva che in questo caso è generalmente necessario di digitare il flauto per *si*, a motivo che quando si soffia dentro colla bocca, il labbro inferiore copre in parte l'imboccatura, ciò che rende il suono un semituono più basso di quello che sarebbe se l' imboccatura fosse del tutto scoperta. Egli ha dimostrato ancora col seguente esperimento che ognuno tra i suoni simultanei può esser reso udibile separata-

mente. Se due bottiglie siano scelte ed intonate riempiendole con tale quantità d'acqua da renderle all'unisono con due coristi che differiscono in altezza di tono, portando i due coristi vibranti alternativamente alla bocca di ciascuna bottiglia, in ciascun caso sarà solo udito quel suono che sarà reso dalla bottiglia unisonante.

Parecchi tentativi sono stati fatti per imitare l'articolazione delle lettere dell'alfabeto. Circa l'anno 1779 Kratzenstein di San Pietroborgo e Kempelen di Vienna costruirono istromenti che articolavano molte lettere, parole, ed anche sentenze. Willis di Cambridge ha adattato dei tubi cilindrici ad una canna la cui lunghezza può essere variata a piacere per mezzo di scorrevoli giunture. Tirando fuori un tubo mentre una colonna d'aria da un mantice d'organo passa per esso, le vocali sono proferite in quest'ordine: — *i, e, a, o, u.* Estendendo il tubo, esse sono ripetute dopo un certo intervallo nell'ordine inverso — *u, o, a, e, i* Dopo un altro intervallo si ottengono di nuovo nell'ordine diretto, e così via via. Quando il tono della canna è alto, egli è impossibile intonare alcune vocali: il che è in perfetta corrispondenza con la voce umana, i cantanti essendo inabili a pronunciare *u* ed *o* nelle loro note alte. Dalle singolari scoperte di Savart sulla natura della voce umana, e dalle investigazioni di Willis sul meccanismo della laringe, si può presumere che in ultimo la maniera di parlare o la formazione dei linguaggi moderni sarà trasmessa non solo agli occhi, ma all'orecchio ancora della posterità. Se gli antichi avessero posseduto i mezzi di trasmettere questi suoni determinati, il mondo civilizzato avrebbe pure risposto col mezzo di note corrispondenti alla distanza di molti secoli.

SEZIONE XVIII.

Refrazione — Refrazione astronomica e sue leggi — Formazione delle tavole di refrazione — Refrazione terrestre — Sua quantità — Esempi di refrazione straordinaria — Riflessione — Esempi di riflessione straordinaria — Perdita di luce per il potere assorbente dell'atmosfera — Grandezza apparente del sole e della luna all'orizzonte.

Non solo tutte le cose che noi udiamo, ma quelle ancora che vediamo accadono per mezzo dell'atmosfera. Senza conoscere l'azione di questa sulla luce, sarebbe impossibile di accertare la posizione dei corpi celesti o determinare ancora la posizione esatta degli oggetti assai distanti sulla superficie della terra; perchè in conseguenza del potere refrattivo dell'aria, nessun oggetto distante è veduto nella sua posizione vera.

Tutti i corpi celesti appariscono sempre più in alto di quello che lo siano realmente, perchè i raggi della luce invece di propagarsi per l'atmosfera in linea retta, sono continuamente piegati verso terra. La luce passando obliquamente da un mezzo rado in uno più denso, come dal vuoto nell'aria, o da questa nell'acqua, è inclinata o refratta dalla sua direzione verso la perpendicolare in quel punto della superficie più densa dove la luce penetra (N. 189). Nel mezzo istesso, il seno dell'angolo contenuto tra il raggio incidente e la perpendicolare è in una ragione costante al seno dell'angolo formato dal raggio refratto e la perpendicolare stessa, ma questa ragione varia col mezzo rifrangente. Più denso è il mezzo, più il raggio è inclinato. Il barometro mostra che la densità dell'atmosfera decresce come l'altezza cresce sopra la terra. Esperimenti diretti provano che il potere refrattivo dell'aria si accresce con la sua densità. Da questo ne segue che se la temperatura è uniforme, il potere refrattivo dell'aria è il massimo alla superficie della terra, e diminuisce dal basso in su.

Un raggio di luce cadendo da un oggetto celeste obliquamente sulla nostra atmosfera variabile, invece di essere refratto tutto in una volta dal suo cammino, è a gradi più e più inclinato durante il suo passaggio a traverso di essa, come se si muovesse in una linea curva verticale ; nella maniera stessa che se l' atmosfera consistesse d' un numero infinito di strati differentemente densi. L' oggetto è veduto nella direzione d' una tangente a quella parte della curva che l' occhio incontra, conseguentemente l' altezza apparente (N. 190) dei corpi celesti è sempre maggiore della loro vera altezza. Per questa circostanza le stelle sono vedute sopra l' orizzonte dopo che sono tramontate, ed il giorno è allungato da una parte del sole che rimane visibile, sebbene realmente sia al di sotto dell' orizzonte terrestre. Sarebbe facile determinare la direzione di un raggio di luce a traverso l' atmosfera, se la legge della densità fosse nota, ma siccome questa legge è continuamente variabile con la temperatura, il caso è complicatissimo. Quando i raggi passano perpendicolarmente da un mezzo in un altro, non sono piegati, e l' esperienza dimostra che nella stessa superficie sebbene i seni degli angoli d' incidenza e di refrazione mantengano la stessa ragione, la refrazione s' accresce con l' obliquità dell' incidenza (N. 189). Quindi è chiaro che la refrazione è massima all' orizzonte, ed allo zenit non ve n' è di sorta. Ma è provato che a tutte l'altezze sopra 10 gradi la refrazione varia approssimativamente come la tangente della distanza angolare dell' oggetto dallo zenit, ed interamente dipende dall'altezza del barometro e termometro. Perocchè la quantità della refrazione alla stessa distanza dallo zenit varia approssimativamente come l' altezza del barometro, rimanendo la temperatura costante, e l' effetto della variazione di temperatura è di diminuire la quantità della refrazione per circa la 480ma parte per ogni grado nell' alzata del termometro Fahrenheit. Non si può riporre molta fiducia

nelle osservazioni celesti al di sotto di dieci o dodici gradi sopra l'orizzonte, a motivo delle variazioni irregolari nelle densità dell' aria vicino alla superficie terrestre, le quali sono qualche volta le cause di fenomeni singolarissimi. L' umidità dell' aria non produce effetto sensibile sul suo potere refrattivo, ed è stato provato che l' ammontare della refrazione è la stessa, qualunque sia la velocità della luce incidente, il che è come dire se la luce vengá da una stella in quella parte del cielo verso la quale la terra è diretta, o venga da quella parte del cielo donde ritorna.

I corpi sieno luminosi o no, sono solamente visibili mediante i raggi che procedono da loro. Siccome i raggi devono passare per strati di differente densità nell' arrivare a noi, ne segue che eccettuato le stelle allo zenit, nessun oggetto o nella nostra atmosfera o al di là, sia veduto nel suo posto vero. La deviazione però è così piccola nei casi ordinari, che non produce inconveniente alcuno, sebbene nelle osservazioni astronomiche e trigonomiche si debba fare la dovuta detrazione per gli effetti della refrazione. Le tavole di refrazione di Bradley furono formate osservando le distanze zenitali del sole alle sue massime declinazioni, e le distanze zenitali della stella polare sopra e sotto il polo. La somma di queste quattro quantità è eguale a 180° diminuiti dalla somma delle quattro refrazioni, donde la somma delle quattro refrazioni fu ottenuta; e dalla legge della variazione della refrazione determinata dalla teoria, Bradley assegnò la quantità dovuta ad ogni altezza (N. 191). La refrazione media orizzontale è circa 35′ 6″, e all'altezza di 45° è 58″·36. L' effetto della refrazione per la stessa stella sopra e sotto il polo fu indicata da Alhazen, astronomo saraceno di Spagna nel nono secolo, ma la sua esistenza era nota a Tolomeo nel secondo secolo, sebbene egli ne ignorasse la quantità.

La refrazione d' un oggetto terrestre è calcolata dif-

ferentemente da quella di un corpo celeste. Essa è misurata dall' angolo contenuto fra la tangente alla direzione curvilinea del raggio dove questo incontra l' occhio e la linea retta che congiunge l' occhio e l' oggetto (N. 192). Vicino alla superficie della terra la direzione del raggio si può supporre circolare, e l' angolo al centro della terra corrispondente a questa direzione è chiamato l' angolo orizzontale. La quantità della refrazione terrestre si ottiene misurando contemporaneamente l'elevazione della cima d' una montagna sopra un punto nel piano alla sua base, e la depressione di questo punto al di sotto della cima della montagna. La distanza tra queste due stazioni è la corda dell' angolo orizzontale, ed è facile provare che il doppio della refrazione è eguale all' angolo orizzontale accresciuto della differenza tra l' apparente elevazione e l' apparente depressione. Quindi si vede che nello stato medio dell' atmosfera la refrazione è circa la decimaquarta parte dell' angolo orizzontale.

Fenomeni singolarissimi avvengono per la espansione accidentale o pella condensazione degli strati atmosferici contigui alla superficie della terra, per i quali gli oggetti distanti invece di essere innalzati vengono depressi. Alcune volte essendo ad un tempo elevati e depressi appariscono doppi, una delle immagini essendo dritta, l'altra rovescia. In conseguenza degli orli superiori del sole e della luna che sono meno refratti degli inferiori, quei corpi celesti compariscono spesso ovali, se si ritrovano vicini all' orizzonte. L' apparire ancora o l'elevazione delle coste, delle montagne e delle navi quando sieno vedute dal mare, deriva da straordinaria refrazione. Un amico dell' autrice mentre stava sui piani dell' Indostan vide tutta la catena superiore delle montagne dell' Himalaya innalzarsi ad un tratto davanti i suoi occhi per un improvviso cangiamento di densità nell'aria, cagionato da una copiosa pioggia dopo un lunghissimo corso di asciutta e calda stagione. In mare, immagini semplici e doppie di oggetti derivanti dalle im-

provvise mutazioni di temperatura, che non sono così presto comunicate all'acqua per la sua densità come all'aria, avvengono più di rado e sono di più breve durata che simili apparenze sulla terra. Nel 1818 il capitano Scoresby, le cui osservazioni sui fenomeni dei mari polari sono tanto pregevoli, riconobbe il vascello di suo padre dalla immagine sua rovesciata nell'aria, sebbene il vascello stesso fosse sotto l'orizzonte. Egli dopo scoperse ch'era 17 miglia lontano al di là dell'orizzonte, e 30 miglia distante. Talvolta due immagini si vedono sospese nell'aria sopra un vascello, una dritta e l'altra rovesciata, incontrandosi pel loro trinchetto o pei loro corpi secondo che l'immagine rovesciata è sopra o sotto a quella dritta (N. 193). Il dottor Wollaston ha provato che queste apparenze sono dovute alla refrazione dei raggi a traverso mezzi di densità differenti, col semplicissimo esperimento di guardare lungo un attizzafuoco riscaldato a rosso, un oggetto distante. Due immagini vi si vedono, una dritta e l'altra rovesciata in conseguenza del cambiamento indotto dal calore nella densità dell'aria adiacente. Produsse l'effetto stesso per mezzo di una soluzione salina o zuccherina con acqua e spirito di vino galleggiantevi sopra (N. 194).

Molti dei fenomeni che sono stati ascritti alla refrazione straordinaria, sembrano cagionati da una parziale o totale riflessione dei raggi di luce alla superficie degli strati di densità differenti (N. 189). Egli è ben noto che quando la luce cade obliquamente sopra l'esterna superficie d'un mezzo trasparente, come sopra una lastra di vetro od uno strato d'aria, una porzione è riflessa e l'altra è trasmessa; ma quando la luce cade assai obliquamente sopra la superficie interna, tutta è riflessa e neppure un raggio è trasmesso. In tutti i casi gli angoli fatti dai raggi incidenti e riflessi con una perpendicolare alla superficie essendo eguali, siccome la lucentezza della immagine riflessa dipende dalla quantità della

luce, quelle immagini che derivano dalla totale riflessione devono essere di gran lunga più vivaci. L'apparenza delusoria dell'acqua, così ben nota ai viaggiatori affricani ed all'arabo del deserto, come il lago delle gazzelle, è attribuita alla riflessione che ha luogo tra gli strati d'aria di differenti densità, dovuta all'irraggiamento del calorico da pianure d'aride arene. Il miraggio descritto dal capitano Mundy nel suo Giornale di un viaggio nell'Indie, probabilmente deriva da questa cagione. « Una valle profonda e precipitosa sotto di noi, nel fondo della quale io aveva veduto uno o due poveri villaggi nel mattino, presero nella sera una rassomiglianza perfetta ad un bel lago; il vapore ascendendo rappresentava la parte dell'acqua quasi a mezza altezza dai lati della valle, e nella luminosa superficie di esso alberi e rupi distintamente erano riflessi. Io non era da molto tempo in contemplazione di questo fenomeno, quando un'improvvisa burrasca sopravvenne e dispiegò una cortina di nubi sopra la scena. »

Un fenomeno che avvenne il 18 novembre 1804 fu probabilmente prodotto dalla riflessione. Il dottor Buchan mentre stava osservando il levare del sole dalla rupe, circa un miglio all'est di Brighton, all'istante che il disco solare emergeva fuori della superficie dell'oceano, vide la rupe sulla quale egli si ritrovava, un mulino a vento, la propria immagine e quella di un amico, dipinta immediatamente in faccia a sè sul mare. Questa apparenza durò circa 10 minuti, sinchè il sole si fu levato quasi quanto il suo proprio diametro sopra la superficie delle onde. Il tutto sembrò allora innalzarsi nell'aria e successivamente svanire. I raggi del sole cadevano sulla rupe con un'incidenza di 73° dalla perpendicolare; ed il mare era coperto da una densa nebbia di molte tese d'altezza che a grado a grado indietreggiava davanti al sole nascente. Quando la refrazione straordinaria ha luogo lateralmente, gli strati di densità variabile sono per-

pendicolari all'orizzonte, e se è combinata con la rifrazione verticale, gli oggetti sono ingranditi come quando sono veduti col mezzo di un telescopio. Per questa causa il 26 luglio 1798 le rupi di Francia, 50 miglia lontane, furono vedute così distintamente da Hastings, come se fossero state tanto vicino da toccarsi colla mano, e si disse che Dieppe ancora sia stata veduta dopo mezzogiorno.

Lo strato d'aria nell'orizzonte è tanto più denso e più grosso dello strato nella verticale, che la luce del sole è diminuita 1,300 volte attraversando il primo: il che ci abilita a guardare il sole quando tramonta, senz'esserne abbagliati. La perdita della luce e conseguentemente del calorico per il potere assorbente dell'atmosfera cresce coll'obliquità dell'incidenza. Di 10,000 raggi che cadono sulla superficie atmosferica, 8,123 arrivano ad un dato punto della terra, se essi cadono perpendicolarmente; 7,024 ne arrivano, se l'angolo della direzione sia 50 gradi: 2,831, se sia 7 gradi, e solo cinque raggi arriveranno a traverso uno strato orizzontale. Poichè una così grande quantità di luce si perde nel passare a traverso l'atmosfera, molti oggetti celesti sono totalmente invisibili dalla pianura mentre possono essere veduti da situazioni elevate. Il diminuito splendore e la falsa stima che noi facciamo della distanza dal numero degli oggetti interposti ci conducono a supporre il sole e la luna essere più grandi quando sono nell'orizzonte, che ad alcuna altra altezza, sebbene l'apparente loro diametro è allora di qualche grado minore. In luogo d'improvvise transizioni di luce e di tenebre, il potere riflessivo dell'aria adorna la natura colle tinte rosee e dorate dell'aurora e del crepuscolo. Anche quando il sole è 18° sotto l'orizzonte, una porzione sufficiente di luce rimane a mostrare che all'altezza di 30 miglia vi è ancora densità abbastanza per riflettere la luce. L'atmosfera disperde i raggi del sole, e somministra tutte le belle e graziose

tinte del giorno. Essa trasmette la luce azzurra in grandissima copia: più alto ascendiamo, più il cielo prende un turchino cupo, ma nell' estensione immensa dello spazio il sole e le stelle devono comparire come macchie brillanti in un fondo di un color nero intenso.

SEZIONE XIX.

Costituzione della luce secondo Isacco Newton — Assorbimento della luce — Colori dei corpi — Costituzione della luce secondo Brewster — Nuovi colori — Linee oscure di Fraunhoffer — Dispersione della luce — Telescopio acromatico — Luce omogenea — Colori accidentali e complementari — Esperimenti e teoria dei colori accidentali di M. Plateau.

Egli è impossibile di tracciare, così come abbiamo fatto, il cammino di un raggio solare a traverso la nostra atmosfera, senza sentire il desiderio di conoscere la sua natura, per qual potere esso traversi l'immensità dello spazio, e le varie modificazioni a cui va soggetto alla superficie e nell'interno delle sostanze terrestri.

Isacco Newton provò la natura composta della luce bianca, come è emessa dal sole, facendo passare un raggio di luce solare a traverso un prisma di vetro (N. 195), che separando i raggi per la refrazione formava uno spettro od immagine oblunga del sole, la quale si compone di sette colori: rosso, arancio, giallo, verde, turchino, indaco e violetto; dei quali il rosso è il meno refrangibile, ed il violetto il più. Ma quando egli riuniva questi sette raggi per mezzo d'una lente, il fascio composto diventava luce bianca come prima. Egli isolò ciascun raggio colorato, e trovando che questo non era capace di essere decomposto ulteriormente per mezzo della refrazione, concluse che la luce bianca si componeva di sette specie di luce omogenea, e che all'istesso colore apparteneva sempre la stessa refrangibilità, e alla stessa refrangibilità

l' istesso colore. Però, dopochè fu fatta la scoperta dei mezzi assorbenti si vide che questa non è la costituzione dello spettro solare.

Noi non conosciamo una sostanza che sia perfettamente opaca o perfettamente trasparente. Anche l'oro può essere battuto così sottile, da essere pervio alla luce. Al contrario, il cristallo il più chiaro, l' aria o l' acqua la più pura, ferma od assorbe i raggi luminosi quando in essa sono trasmessi, e per gradi si estinguono come essi penetrano a più grandi profondità. Per questa ragione gli oggetti non possono essere veduti al fondo di un' acqua profondissima, e molte stelle sono visibili ad occhio nudo dalle cime delle montagne, mentre non lo sono dalle valli. La quantità di luce che cade sopra una sostanza trasparente, è sempre maggiore della somma dei raggi riflessi e refratti. Una piccola quantità è irregolarmente riflessa in tutte le direzioni per il difetto di pulitura per la quale vediamo le superfici; ma una molto maggiore porzione è assorbita dal corpo. I corpi che riflettono tutti i raggi, compariscono bianchi; quelli che li assorbiscono tutti, compariscono neri: ma la maggior parte delle sostanze dopo la decomposizione della luce bianca che cade sopra di esse, riflettono alcuni colori ed assorbiscono il resto. Un violetto riflette i raggi violetti soltanto, ed assorbisce gli altri. Un drappo scarlatto assorbisce quasi tutti i colori, eccetto il rosso; un giallo riflette i gialli più abbondantemente, e un turchino i turchini. In conseguenza il colore non è una proprietà della materia, ma deriva dall' azione della materia sulla luce. In fatti, la legge di azione e di reazione prevale nella luce come in ogni altra parte della natura; così che la luce non può esser riflessa nè refratta, molto meno assorbita da qualunque mezzo, senza che questo sia percosso da quella. Così un nastro bianco riflette tutti i raggi, ma quando è tinto in rosso, le particelle della seta acquistano la proprietà di riflettere i raggi rossi più copiosamente e di assorbire gli altri. Da questa proprietà

di disuguale assorbimento dipendono i colori dei mezzi trasparenti. Perocchè essi ricevono pure il colore dal loro potere di fermare od assorbire alcuni dei colori della luce bianca e di trasmettere gli altri. Così, per esempio, gli inchiostri nero e rosso, sebbene egualmente omogenei, assorbiscono differenti sorta di raggi, e quando sono esposti al sole, si riscaldano in diverso grado, mentre l'acqua pura sembra trasmettere tutti i raggi egualmente, e non è sensibilmente riscaldata pel passaggio della luce solare. La luce molto oscura trasmessa per un vetro smaltato in turchino non è un colore omogeneo, come il turchino o l'indaco dello spettro, ma una mistura di tutti i colori della luce bianca che il vetro non ha assorbito. I colori assorbiti sono quelli che misti al turchino formerebbero la luce bianca. Quando si guarda lo spettro dei sette colori a traverso una lastra sottile di questo vetro, essi sono tutti visibili; e quando la lastra è molto grossa, ogni colore è assorbito tra gli estremi rosso e violetto, essendo l'intervallo perfettamente nero; ma se lo spettro sia veduto a traverso una certa grossezza del vetro intermedia alle due, si ritroverà che la metà dello spazio rosso, tutto quello dell'arancio, una grande porzione del verde, una parte notabile del turchino, una piccola dell'indaco e pochissimo violetto scompariscono, essendo assorbiti dal vetro turchino, e che i raggi gialli occupano un più largo spazio coprendo parte di quello occupato da prima dall'arancio sopra un canto, e dal verde sopra l'altro: così che il vetro turchino assorbe la luce rossa, che quando è mista col giallo costituisce l'arancio, e assorbe ancora la luce turchina che mista col giallo, forma la parte dello spazio verde vicino al giallo. Quindi per l'assorbimento, la luce verde è decomposta in giallo e turchino; l'arancio in giallo e rosso. Per conseguenza i raggi arancio e i verdi, sebbene incapaci di decomposizione per refrazione, possono essere decomposti per assorbimento, e realmente si compongono di due differenti colori, che possiedono lo stesso grado

di refrangibilità. La differenza di colore pertanto non è una prova di differenza di refrangibilità, e la conclusione dedotta da Newton non è più ammissibile come una verità generale. Per questa analisi dello spettro non solo col vetro turchino, ma con una varietà di mezzi colorati, Brewster, tanto meritamente celebre per le sue ottiche scoperte, ha provato che lo spettro solare consiste di tre colori primari, rosso, giallo e turchino; ognuno dei quali esiste per tutta l'estensione dello spettro, ma con differenti gradi d'intensità in differenti parti, e che la soprapposizione di questi tre produce tutti i sette, secondo che ogni color primario è in eccesso o in difetto. Siccome una certa porzione di raggi rossi, gialli e turchini costituiscono la luce bianca, il colore d'un punto dello spettro può essere considerato come composto del colore predominante in quel punto, mescolato con la luce bianca. Conseguentemente « per l'assorbimento dell'eccesso di un colore ad un dato punto dello spettro, maggiore di quello che è necessario a formare la luce bianca, una luce bianca comparirà in quel punto ove non è stata mai veduta da occhio mortale prima di questo esperimento: poichè essa possiede la proprietà rimarchevole di rimanere la stessa dopo un numero di refrazioni qualchessisia, e di essere capace di decomposizione per il solo assorbimento. »

Questa analisi della luce è stata messa in questione dal professor Challis di Cambridge, il quale non ammette alcuna risoluzione per mezzi assorbenti differenti da quella per il prisma, sebbene ammetta che una mistura di turchino e di giallo della luce solare produca il verde. Il professor Stokes, al contrario, non concede che una mistura di turchino e di giallo della luce solare produca il verde, sebbene questa mistura lo produca, quando la luce è proveniente da altre sorgenti; perocchè ritrovò che la gradazione della luce solare passa dal giallo al giallo diluito, al bianco, al bleu diluito, e finalmente al

turchino; così egli non ammette l'analisi di Brewster dello spettro solare, sebbene apparisca mantenere sempre il dubbio sul reale carattere dei fenomeni presentati da certe sostanze assorbenti.

In aggiunta ai sette colori dello spettro newtoniano Giovanni Herschel ha scoperto una continuazione di scurissimi raggi rossi al di là della estremità rossa dello spettro, i quali possono essere veduti solo quando l'occhio è difeso dallo splendore degli altri colori per mezzo di un vetro di cobalto oscuro turchino. Herschel ha ritrovato ancora che oltre la estremità violetta, sono visibili dei raggi d'un colore grigio di lavanda che possono essere veduti facendo cadere lo spettro sopra un foglio di carta inumidito dal carbonato di soda. Il potere luminoso dei differenti raggi dallo spettro varia col colore. La luce più intensa è nel mezzo del raggio giallo, o, secondo Fraunhofer, al confine dell'arancio e del giallo.

Quando il prisma è perfettissimo e piccolo il fascio solare, così che lo spettro possa essere ricevuto sopra un foglio di carta bianca nel suo stato più puro, esso presenta l'apparenza d'un nastro ombreggiato con tutti i colori prismatici, avente la sua estensione in largo rigata irregolarmente o suddivisa da un indefinito numero di linee oscure e qualche volta nere. Il maggior numero di queste linee senza raggio sono così estremamente sottili, ch'egli è impossibile vederle nelle circostanze ordinarie. Il metodo migliore si è ricevere lo spettro sopra l'obiettivo d'un telescopio in modo da ingrandirle abbastanza per renderle visibili. Questo esperimento può essere fatto, ma imperfettamente, guardando una stretta linea di luce tra due sportelli da finestra quasi chiusi a traverso un eccellente prisma di vetro tenuto vicino all'occhio col suo angolo refrangente parallelo alla linea di luce. Le linee senza raggi nella porzione rossa dello spettro diventano più visibili come il sole si accosta all'orizzonte; mentre quelle nell'estremità turchino sono molto

facili a vedersi nel mezzo della giornata. Quando lo spettro è formato dai raggi solari o diretti o indiretti, come dal firmamento, dalle nubi, dall'arco baleno, o dalla luna, o dai pianeti, le striscie oscure si ritrovano sempre essere nelle stesse parti dello spettro, e mantengono le stesse relative posizioni sotto tutte le circostanze. Simili linee oscure si vedono ancora nella luce delle stelle, nella luce elettrica e nella fiamma delle sostanze combustibili, quantunque disposte differentemente, ogni stella ed ogni fiamma avendo un sistema di linee oscure peculiare a sè stessa. Wollaston e Fraunhofer di Monaco scuoprirono queste linee senza raggi indipendentemente l'uno dall'altro.

Fraunhofer trovò che il loro numero si estende approssimativamente a 600, ma esse sono molto più numerose. Vi sono alcune linee luminose nello spettro solare che mantengono pure una posizione fissa. Tra le linee oscure, Fraunhofer ne sceglieva sette delle più notevoli, determinava le loro distanze così accuratamente ch'esse ora forniscono un modello e punti invariabili di relazione per misurare i poteri refrattivi di differenti mezzi sui raggi luminosi; il che rende questa parte d'ottica così esatta, come qualunque altra delle scienze fisiche. Queste linee sono designate colle lettere dell'alfabeto cominciando con *B* che è nel rosso vicino all'estremità dello spettro; *C* è più avanzato nel rosso; *D* è nell'aranciò; *E* nel verde; *F* nel turchino; *G* nell'indaco, ed *H* nel violetto. Mediante questi punti fissi Fraunhofer ha accertata, per mezzo della osservazione prismatica, la refrangibilità di sette de' raggi principali in ognuna fra dieci sostanze differenti solide e liquide. La refrazione cresceva in tutti dal rosso al violetto, fine dello spettro. I raggi che sono mancanti nello spettro solare, e che cagionano le linee oscure, si suppone sieno assorbiti dall'atmosfera solare. Ma l'eclisse anulare che accadde ai 15 maggio 1836 somministrò al professor Forbes i mezzi di provare che le linee oscure in discorso non possono essere attribuite all'assorbimento

dell'atmosfera solare: esse non erano nè più larghe nè più numerose nello spettro formato durante quel fenomeno che in alcun altro tempo, sebbene i raggi venissero solo dalla circonferenza del disco solare, e conseguentemente dovevano traversare una maggiore profondità dell'atmosfera del sole.

David Brewster ritrovò, che in certi stati dell'atmosfera le linee oscure divenivano più larghe, e alcune di esse profondamente nere, ed osservava ancora che quando il sole tramonta in un velo di vapori rossi, parte dello spettro luminoso era assorbito, quindi concludeva che l'atmosfera terrestre aveva assorbito i raggi di luce che occupavano le linee nere. Per mezzo ancora di esperimenti diretti fu veduto che l'atmosfera agiva potentemente sopra le linee senza luce.

Quando una lente è posta lunghesso un prisma, delle linee nere longitudinali di larghezza differente si vedono attraversare le fascie già descritte, ad angoli retti; Ragona-Scina e Babinet le credono linee di interferenza, che esistono nella luce, la quale passa a traverso una lente convessa.

Le linee sono differenti in genere e in numero negli spettri provenienti da gas e da fiamma. In uno spettro veramente magnifico di luce passata a traverso il gas acido nitroso, Brewster contò 2,000 fascie nere. Nello spettro d'una lucerna, e generalmente di tutte le fiamme bianche, non si sono ritrovate linee difettive; così tutte queste fiamme contengono dei raggi che non esistono nella luce del sole o delle stelle. Alcune brillanti linee rosse si vedono nello spettro, prodotte per la combustione del nitro sopra il carbon fossile, e in tutte le fiamme artificiali, esistono fascie nere e lucide, qualche volta corrispondenti in posizione con quelle dello spettro solare, e talvolta no.

Un raggio solare ricevuto sopra un diaframma, dopo essere passato a traverso un piccolo buco d'una impo-

sta di finestra, comparisce simile ad una macchia bianca circolare; ma quando vi sia interposto un prisma, il raggio non occupa più l'istesso spazio. Esso è separato nei colori prismatici, e si dispiega sopra una linea di notabile lunghezza, mentre la sua larghezza rimane la stessa con quella della macchia bianca. L'atto di dispiegarsi o la separazione dei colori è chiamata la dispersione de' raggi colorati. La dispersione ha sempre luogo nel piano di refrazione, ed è tanto maggiore, quanto l'angolo d'incidenza è maggiore. Essa varia inversamente alla lunghezza di un'onda di luce e direttamente come la sua velocità: quindi verso l'estremità turchina dello spettro, dove le ondulazioni dei raggi sono minime, la dispersione è massima. Le diverse sostanze hanno differentissimi poteri dispersivi, cioè gli spettri formati da due prismi eguali di sostanze differenti sotto le stesse circostanze precise, sono di lunghezze differenti. Così se un prisma di *flint-glass* ed uno di *crown-glass* di angoli rifrangenti eguali siano presentati a due raggi di luce bianca ad angoli eguali, si ritroverà che lo spazio sopra cui i raggi colorati sono dispersi dal *flint-glass* è molto maggiore che lo spazio occupato per quelli prodotti dal *crown-glass*, e siccome la quantità della dispersione dipende dall'angolo rifrangente del prisma, gli angoli dei due prismi possono essere tali, che quando i prismi sono situati insieme vicini coi loro spigoli rivolti ad opposte parti, esattamente opporranno la propria azione reciprocamente, e rifrangeranno egualmente i raggi colorati, ma in direzioni contrarie, così che un'esatta compensazione vi si effettuerà, e la luce sarà refratta senza colore (N. 195). Il telescopio acromatico è costruito su questo principio. Questo telescopio si compone di un tubo con un vetro oggettivo o lente ad un'estremità per portare i raggi ad un foco e formare un'imagine dell'oggetto lontano, e d'un vetro che ingrandisce all'altra estremità per vedere l'imagine così formata. Ora si ritrova che il vetro oggettivo in vece

di convergere i raggi ad un punto, li disperde e dà un' imagine confusa e colorata, ma costruendolo di due lenti in contatto, una di vetro di *flint* e l' altra di *crown-glass* di determinate forme e proporzioni, la dispersione è contrariata, e si forma un' immagine perfettamente terminata dell' oggetto e senza colori (N. 196). Fu creduto essere impossibile produrre refrazione senza colori, sino a che Hall, gentiluomo della contea di Worcester costrusse un telescopio su questo principio nel 1733, e 25 anni dopo il telescopio acromatico fu portato a perfezione da Dollond, celebre ottico in Londra.

Coi mezzi della determinazione della rifrazione dei raggi principali nelle diverse sostanze, proposti da Fraunhofer, si può trovare il loro poter dispersivo (N. 197).

Un colore perfettamente omogeneo è rarissimo a ritrovarsi, ma le tinte di tutte le sostanze sono più brillanti, quando sono vedute nella luce del proprio colore. Il rosso di un' ostia è molto più vivo nella luce rossa che nella bianca, mentre se è situato nella luce omogenea gialla, non comparisce più rosso, perchè non vi è un raggio rosso nella luce gialla. Se non fosse che l' ostia, come tutti gli altri corpi, colorati o no, riflette la luce bianca alla sua superficie esterna, comparirebbe assolutamente nera quando vien messa alla luce gialla.

Dopo aver guardato fissamente per un corto tempo ad un oggetto colorato come un' ostia rossa, rivolgendo gli occhi ad una sostanza bianca, apparisce un' imagine verde dell' ostia, ciò che viene chiamato il colore accidentale del rosso. Tutte le tinte hanno il loro colore accidentale, così l' accidentale dell' arancio è il turchino, quello del giallo è l' indaco, del verde il bianco rossiccio, del turchino il rosso-arancio, del violetto il giallo, e del bianco il nero, e viceversa. Quando i colori diretti ed accidentali sono della stessa intensità, l' accidentale è allora chiamato il colore complementario, perchè due colori

sono detti complementari l'uno dell'altro, quando producono il bianco se vengono combinati.

Dagli esperimenti di Plateau di Bruxelles apparisce che due colori complementari d'impressione diretta, i quali produrrebbero bianco se venissero combinati, producono nero, o si estinguono l'un l'altro per la loro unione, quando sono accidentali; ed anche, che la combinazione di tutte le tinte dello spettro solare produce una luce bianca, se sono d'impressione diretta sull'occhio, mentre il nero risulta dall'unione delle stesse tinte se fossero accidentali; ed in ogni caso dove i colori reali producono bianco per la loro combinazione, gli accidentali delle stesse tinte fanno nero. Quando l'immagine d'un oggetto è impressa sulla retina solo per pochi momenti, la immagine rimastavi è esattamente dell'istesso colore dell'oggetto, ma in un tempo brevissimo essa è rimpiazzata dall'immagine accidentale. Plateau attribuisce questo fenomeno alla reazione della retina dopo essere eccitata dalla visione diretta, così che l'impressione accidentale è d'una natura opposta alla corrispondente impressione diretta. Egli si figura che quando l'occhio è eccitato dall'esser stato fisso per un tempo sopra un oggetto colorato, e quindi ritratto dall'eccitamento, egli procura di ritornare al suo stato di riposo, ma in modo che l'occhio oltrepassa questo punto, e spontaneamente assume una condizione opposta, come una molla che inclinata in una direzione nel ritornare al suo stato di riposo, inclinasi altrettanto nel senso contrario. L'immagine accidentale così risulta da una modificazione particolare dell'organo della vista, in virtù della quale, esso spontaneamente ci dà una nuova sensazione dopo essere stato eccitato dalla visione diretta. Se la impressione prevalente è una luce bianca fortissima, la sua immagine accidentale non è nera, ma una varietà di colori successivi. Secondo il detto Plateau la retina presenta una resistenza all'azione della luce che cresce con la durata di quest'azione, quindi

dopo avere guardato intentamente a un oggetto per un lungo tempo, esso comparisce decrescere in lucentezza. L'immaginazione ha una potente influenza sulle nostre ottiche impressioni, ed è stato conosciuto che fa rivivere le immagini degli oggetti assai luminosi molti mesi, ed anche molti anni dopo.

SEZIONE XX.

Interferenza della luce — Teoria delle ondulazioni della luce — Propagazione della luce. — Anelli di Newton — Misura della lunghezza delle onde luminose e della frequenza delle vibrazioni dell'etere per ogni colore — Scala dei colori di Newton — Diffrazione della luce — Teoria dell'assorbimento della luce di Sir J. Herschel — Refrazione e riflessione della luce.

Newton e la maggior parte de' suoi successori immediati si figurarono che la luce fosse una sostanza materiale, emessa da tutti i corpi luminosi di per sè stessi col mezzo di particelle estremamente minute, che muovendosi in linee rette con prodigiosa velocità, e facendo impressione sui nervi ottici, producesse la sensazione della luce. Molti dei fenomeni osservati sono stati spiegati per mezzo di questa teoria: essa nondimeno è totalmente inabile a spiegare le circostanze seguenti.

Quando due raggi eguali di luce rossa che procedono da due punti luminosi, cadono sopra un foglio di carta bianca in una camera oscura, producono una macchia rossa sopra di esso, la quale sarà due volte così brillante come l'uno o l'altro dei due raggi l'avrebbe prodotta da per sè solo, purchè la differenza nella lunghezza dei due raggi dai punti luminosi alla macchia rossa sulla carta sia esattamente la $0^{\cdot}0000258^{ma}$ parte d'un pollice. L'effetto stesso avrà luogo se la differenza nelle lunghezze sia due, tre, quattro volte ec., quella quantità. Ma se la differenza nelle lunghezze dei due raggi sia

eguale ad una metà della 0·0000258ma parte d'un pollice o la sua $1\frac{1}{2}$ $2\frac{1}{2}$ $3\frac{1}{2}$ parte, una luce estinguerà interamente l'altra, e produrrà assoluta oscurità sopra alla carta dove i raggi cadono uniti. Se la differenza nelle lunghezze del loro cammino sia eguale a $1\frac{1}{4}$ $2\frac{1}{4}$ $3\frac{1}{4}$ della 0·0000258ma parte d'un pollice, la macchia rossa che nasce dai raggi combinati sarà della stessa intensità di quella prodotta da un solo. Se la luce violetta venga impiegata, la differenza nella lunghezza dei due raggi deve essere eguale alla 0·0000157ma parte d'un pollice per produrre gli stessi fenomeni, e per gli altri colori la differenza deve essere intermedia fra la 0·0000258ma e la 0·0000157ma parte d'un pollice. Fenomeni somiglianti possono riscontrarsi guardando la fiamma d'una candela a traverso due finissime fessure fatte in una carta, estremamente vicine l'una all'altra (N. 198), o coll'ammettere la luce del sole in una camera oscura per il foro d'uno spillo di circa la 40ma d'un pollice in diametro, ricevendo l'immagine sopra un foglio di carta bianca e tenendo un sottil filo metallico nella luce. L'ombra sarà ritrovata comporsi d'una striscia bianco-luminosa nel mezzo, con una serie di righe colorate alternativamente oscure e luminose su d'ogni lato. I raggi che si inclinano attorno al filo metallico in due correnti sono di eguali lunghezze nella striscia di mezzo; per conseguenza essa è doppiamente luminosa per l'effetto combinato, ma i raggi che cadono sopra la carta dai due lati della riga luminosa, essendo di lunghezze tanto disuguali da distruggersi l'un l'altro, formano le linee nere. Dall'uno e l'altro lato di queste linee nere i raggi sono di nuovo di tali lunghezze da combinarsi a formare delle strisce luminose, e così alternativamente sinchè la luce sia troppo debole per esser più visibile. Quando una luce omogenea è adoprata, tale come la rossa, le alternazioni sono solo nere e rosse: ma a motivo della natura eterogenea della luce bianca, le linee nere si alternano con le righe vivaci o frangia dei colori prismatici

che derivano dalla sovrapposizione di sistemi di linee nere alternate a quelle d'ogni colore omogeneo. Che le alternazioni di linee nere e di frange colorate realmente derivino dalla miscela delle due correnti di luce che scorrono attorno il filo, è provato dalla loro scomparsa all'istante che una delle correnti è interrotta: si può per questo concludere che quante volte queste strisce di luce e di oscurità si mostrano, esse si devono ai raggi che si combinano a certi intervalli per produrre un effetto compiuto, e agli altri che distruggonsi reciprocamente. Ora è contrario a tutte le idee che abbiamo sulla materia il supporre che due particelle materiali si distruggano l'un l'altra per una qualsiasi circostanza; mentre al contrario lo possono due movimenti opposti, ed è impossibile non essere colpiti dalla perfetta somiglianza tra le interferenze delle piccole ondulazioni dell'aria o dell'acqua ed i precedenti fenomeni. L'analogia è in fatto così perfetta, che filosofi di autorità altissima si accordano nel credere che le regioni celesti siano riempite d'un mezzo estremamente rado, imponderabile ed altamente elastico, detto etere, le cui particelle sono capaci di ricevere le vibrazioni comunicate loro dai corpi luminosi di per sè stessi, e di trasmetterle ai nervi ottici in modo da produrre la sensazione della luce. L'accelerazione nel movimento medio della cometa di Encke, come di quella scoperta da Biela, rende certa l'esistenza di questo mezzo. È chiaro che in quest'ipotesi le striscie alternative di luce e di oscurità sono certamente effetto della interferenza delle ondulazioni; perchè nella misura reale, la lunghezza di un'onda dei raggi medi rossi dello spettro solare è eguale alla $0^{\cdot}0000258^{ma}$ parte d'un pollice: conseguentemente quando l'elevazione delle onde si combina, queste onde producono doppia intensità di luce che ciascuna produrrebbe da sè sola, e quando una mezza onda combinasi con una intera, cioè quando il deprimersi di un'onda combinasi colla elevazione di un'altra, l'oscurità n'è il

risultato. Ai punti intermedi fra questi estremi, l'intensità della luce corrisponde alle differenze intermedie nelle lunghezze dei raggi.

La teoria delle interferenze è un caso particolare della legge generale meccanica della sovrapposizione dei piccoli movimenti: quindi si vede che il disturbo d'una particella di un mezzo elastico prodotto da due ondulazioni coesistenti, è la somma dei disturbi che ogni ondulazione produrrebbe separatamente: per conseguenza la particella si muoverà nella diagonale di un parallelogrammo i di cui lati sono le due ondulazioni. Se però le due ondulazioni si combinano nella direzione o presso a poco, il movimento risultante sarà approssimativamente uguale alla loro somma e nella stessa direzione: se si oppongono l'una all'altra, il movimento risultante sarà approssimativamente eguale alla loro differenza, e se le ondulazioni sono eguali ed opposte, la risultante sarà zero e la particella rimarrà in riposo.

I precedenti esperimenti e le conseguenze dedotte da essi, che hanno condotto allo stabilimento della dottrina delle ondulazioni della luce, costituiscono le più illustri memorie del nostro concittadino dottor Tommaso Young, sebbene Huygens sia stato il primo ad averne l'idea.

Vien supposto che le particelle dei corpi luminosi siano in uno stato di continua agitazione, e che questi posseggano la proprietà di eccitare delle vibrazioni regolari nelle molecole del mezzo etereo corrispondenti alle vibrazioni delle loro proprie molecole, e che a motivo della natura elastica dell'etere, una particella di questo, quando è messa in movimento, comunichi le sue vibrazioni alle adiacenti, le quali successivamente le trasmettono alle più lontane; così che il primitivo impulso è trasportato da particella a particella, ed il movimento ondulatorio continua per l'etere come una onda nell'acqua. Di modo che la luce è movimento, e perciò soggetta alle leggi della dinamica e all'analisi matematica.

Sebbene il movimento progressivo della luce sia noto per l'esperienza essere uniforme ed in linea retta, le vibrazioni delle particelle avvengono sempre ad angoli retti colla direzione del raggio. La propagazione della luce è come lo spandersi delle onde nell'acqua; ma se un raggio si considera solo, il suo movimento può essere concepito, supponendo una corda d'indefinita lunghezza tirata orizzontalmente, un capo della quale è tenuto in mano. Se la si agita ad intervalli regolari con movimento perpendicolare alla sua lunghezza, una serie di tremori simili ed eguali, ossia di onde, si propagherà lunghesso lei, e se gli impulsi regolari sono dati in una differente serie di piani come d'alto in basso, da diritta a sinistra, ed in direzioni oblique ancora, le ondulazioni successive avranno luogo in ogni piano possibile. Un analogo movimento nell'etere, quando è comunicato ai nervi ottici, produrrebbe la sensazione della luce comune. Egli è evidente che le onde che scorrono da estremità ad estremità della corda con una forma serpentina, sono totalmente differenti dal movimento vibratorio perpendicolare di ogni particella della corda, che non devia mai lungi dallo stato di riposo. Così nell'etere ogni particella vibra perpendicolarmente alla direzione del raggio, ma queste vibrazioni sono totalmente differenti ed indipendenti dalle ondulazioni, le quali sono trasmesse a traverso l'etere nella maniera stessa che le vibrazioni d'ogni spiga individuale di grano sono indipendenti dalle onde che scorrono da un capo all'altro di un campo di grano quando è agitato dal vento.

La intensità della luce dipende dall'ampiezza o estensione delle vibrazioni delle particelle dell'etere, mentre il suo colore dipende dalla frequenza delle loro vibrazioni. Il tempo della vibrazione di una particella di etere è, secondo la teoria, in ragion diretta come la lunghezza di un'onda, ed in ragione inversa come la sua velocità. Ora, siccome è noto che la velocità della luce è di 190,000 mi-

glia in un secondo, se le lunghezze delle onde dei differenti raggi colorati si potessero misurare, il numero delle vibrazioni in un secondo, corrispondente a ciascuna, potrebbe essere computato. Questo è stato fatto nel modo seguente: tutte le sostanze trasparenti di una certa grossezza con facce parallele riflettono e trasmettono la luce bianca, ma se sono sottilissime, tanto la luce riflessa che la trasmessa diviene colorata. Le vivaci tinte delle bolle di sapone, i colori iridescenti prodotti dal calore sull' acciaio e sul rame lustrati, le frange di colore tra le lamine dello spato d' Islanda e del solfato di calce, tutti si compongono di una successione di tinte disposte nell' ordine stesso, totalmente indipendenti dal colore della sostanza, e solo sono determinate dalla sua più o meno grande grossezza; circostanza che somministra i mezzi di accertare la lunghezza delle onde di ogni raggio colorato, e la frequenza delle vibrazioni delle particelle che la producono. Se una lastra di vetro sia messa sopra una lente di curvatura quasi impercettibile, davanti una finestra aperta, quando esse sono compresse insieme, si vedrà una macchia nera nel punto di contatto, circondata da sette anelli vivaci di colori tutti differenti l' uno dall' altro (N. 199). Nel primo di questi anelli, contando dalla macchia nera, i colori succedonsi l' uno l' altro nella seguente maniera: nero, debolissimo turchino, bianco brillante, giallo, arancio e rosso. Essi sono totalmente differenti negli altri anelli e nel settimo i soli colori sono, turchiniccio pallidamente verde, e pallidissimo rosa. Che questi anelli siano formati fra le due superficii in apparente contatto, si può provare mettendo un prisma sopra la lente, invece di una lastra di vetro, e guardando gli anelli per il lato inclinato del prisma che è più vicino all' occhio; il quale ordinamento impedisce che la luce riflessa dalla superficie superiore, si mischi con quella delle superfici in contatto, così che gl' intervalli tra gli anelli compariscono perfettamente neri; una delle più forti circostanze in fa-

vore della teoria ondulatoria: perchè sebbene i fenomeni degli anelli possano essere spiegati per l'una e per l'altra ipotesi, vi è questa materiale differenza, che, secondo la teoria ondulatoria, gl'intervalli tra gli anelli devono essere assolutamente neri, il che è confermato dall'esperienza; mentre per la dottrina dell'emanazioni devono essere illuminati; il che non si ritrova essere il caso. Fresnel, la cui opinione è della più grande autorità, sosteneva questa prova essere decisiva. Si può pertanto affermare che gli anelli derivano intieramente dall'interferenze de'raggi: la luce riflessa da ognuna delle superfici in apparente contatto arriva all'occhio per un cammino di differenti lunghezze e produce anelli colorati e neri alternativamente secondo che le onde riflesse coincidono o distruggonsi l'un l'altra. Le larghezze degli anelli sono disuguali; essi decrescono in lunghezza, ed i colori diventano più confusi a misura che si allontanano dal centro. Gli anelli colorati sono prodotti ancora trasmettendo la luce a traverso l'istesso apparecchio, ma i colori sono meno vivaci e sono complementari a quelli riflessi; conseguentemente la macchia centrale è bianca.

La grandezza degli anelli cresce con l'obliquità della luce incidente; l'istesso colore richiedendo una grossezza maggiore o spazio più grande tra i vetri per esser prodotto, che allorquando la luce cade perpendicolarmente sopra di essi. Ora, se l'apparecchio è situato in una luce omogenea invece che nella bianca, gli anelli saranno tutti dello stesso colore con quello della luce impiegata, cioè, se la luce è rossa, gli anelli saranno rossi, divisi da intervalli neri. La grandezza degli anelli varia con il colore della luce. Essi sono larghissimi nel rosso e decrescono in grandezza coi colori prismatici che seguono, essendo i più piccoli nella luce violetta.

Poichè uno dei vetri è piano e l'altro sferico, egli è evidente che dal punto di contatto lo spazio tra di loro cresce per gradi in grossezza tutto intorno, così che una

certa grossezza d' aria corrisponde ad ogni colore; il che nel sistema ondulatorio misura la lunghezza dell' onda che lo produce (N. 200). Col mezzo della misura diretta, Isacco Newton ritrovò che i quadrati dei diametri della parte più lucida di ogni anello sono come i numeri caffi 1, 3, 5, 7, ec., e che i quadrati dei diametri delle parti le più oscure sono come i numeri pari 0, 2, 4, 6, ec. Per conseguenza gl'intervalli tra i vetri in questi punti sono nella stessa proporzione. Se quindi la grossezza dell'aria corrispondente ad un qualche colore potesse essere ritrovata, la grossezza sarebbe conosciuta per tutti gli altri. Ora, siccome Newton conosceva il raggio della curvatura della lente e la reale lunghezza degli anelli in parti di pollice, era facile computare che la grossezza dell' aria alla parte più oscura del primo anello è la $\frac{1}{89000}^{ma}$ parte d' un pollice, donde tutte le altre sono state dedotte. Siccome questi intervalli determinano la lunghezza delle onde nella ipotesi delle ondulazioni, è chiaro che la lunghezza di un' onda dell' estremo rosso dello spettro solare è eguale alla $0{,}0000266^{ma}$ parte di un pollice; che la lunghezza di un' onda dell' estremità violetta è eguale alla $0{,}0000167^{ma}$ parte di un pollice; e siccome la durata di una vibrazione di una particella d' etere che produce un particolare colore, è in rapporto diretto alla lunghezza di una onda di quel colore ed in ragione inversa della velocità della luce, ne segue che le molecole dell' etere che producono l' estremo rosso dello spettro solare compiscono 458 milioni di milioni di vibrazioni in un secondo; quelle che producono l' estremo violetto compiscono 727 milioni di milioni di vibrazioni nel tempo stesso. Le lunghezze delle onde dei colori intermedi e il numero delle loro vibrazioni essendo intermedi tra questi due, la luce bianca che si compone di tutti i colori è per conseguenza una mistura di onde di tutte le lunghezze tra i limiti dell' estremo rosso e del violetto. La determinazione di queste minute porzioni di tempo e di spazio,

ambedue le quali hanno una reale esistenza, essendo i diritti risultati della misura, fece molto onore al genio di Newton, quanto quella della legge della gravitazione.

Il numero delle onde avanzantisi di luce in un pollice è conosciuto essere da 37,600 a 59,880, ed il numero delle vibrazioni laterali è da 458 a 727 bilioni in un secondo, ma la estensione di queste vibrazioni laterali delle particelle del mezzo etereo non è conosciuta, sebbene tanto la loro estensione come la loro velocità sieno probabilmente molto piccole, paragonate alla lunghezza delle onde avanzatesi, e alla velocità di propagazione. Il colore si identifica col numero delle vibrazioni; ma se la riflessione, la refrazione, l'assorbimento ec., abbiano qualche relazione colle vibrazioni laterali, e se esse sieno dipendenti in qualche parte da qualche azione fisica sconosciuta del mezzo etereo, sono punti non ancora determinati. Per accertare queste circostanze, il dottor Faraday instituì una serie dei più delicati esperimenti sopra la relazione delle minute particelle dei metalli con le vibrazioni della luce.

L'oro agisce potentemente sopra la luce, e possiede una reale trasparenza, trasmettendo i raggi verdi quando sia in lamine molto sottili; ed essendo capace di una estrema divisione col mezzo dei dissolventi senza perdere i suoi caratteri metallici, le sue particelle trasmettono raggi di vari colori secondo la loro grandezza: quelle che trasmettono il color di rosa ai cristalli di Boemia sono di una inconcepibile minutezza. Le onde progressive dell'etere sono così lunghe paragonate con le dimensioni delle molecole alle quali l'oro può essere ridotto, che sembrò probabile al dottor Faraday quando quest'ultime erano poste alla luce solare, che qualche relazione potesse venir scoperta fra loro e le più piccole vibrazioni del mezzo etereo: nel qual caso se la riflessione, la refrazione ec., dipendessero da tali relazioni, vi sarebbe ragione di attendersi che queste funzioni cangiassero sen-

sibilmente per la sostituzione scambievole delle particelle di oro di differente grandezza. In quel tempo il dottor Faraday sperava di poter cangiare un colore in un altro col mezzo dell'oro, il che sarebbe stato equivalente a un cangiamento nel numero delle vibrazioni, ma sebbene egli non abbia ancora ottenuto questo risultato, le sue ricerche sono della più grande importanza. [1]

Il fenomeno degli anelli colorati ha luogo nel vuoto come nell'aria: il che prova che la distanza tra le lenti soltanto, e non l'aria, è la causa che produce i colori. Nondimeno se acqua o olio vien posto fra le lenti, gli anelli si contraggono, ma non seguono altri cangiamenti: e Newton ritrovò che la grossezza dei differenti mezzi, alla quale una data tinta è veduta, sta nella ragione inversa dei loro indici refrattivi, così che la grossezza di lamine che non possono in altro modo misurarsi, può esser nota dal loro colore, e siccome la posizione dei colori negli anelli è invariabile, essi formano un campione fisso di paragone ben noto, la scala Newtoniana dei colori: ogni tinta essendo calcolata secondo l'anello al quale appartiene dal centro della macchia centrale inclusivamente. Non solo i colori periodici già descritti, ma i colori veduti in grosse lastre di sostanze trasparenti, le variabili tinte delle penne delle ali degli insetti, della madre-perla e delle sostanze striate, tutti dipendono dallo stesso principio. A queste possono essere aggiunte le frange colorate che circondano le ombre di tutti i corpi tenuti in un raggio di luce estremamente piccolo; e gli anelli colorati che circondano il piccolo raggio stesso, quando è ricevuto su d'un foglio di carta.

Allorchè un sottilissimo raggio di sole che passa per un piccolo buco di spillo in una camera oscura, è rice-

[1] Bakerian Lecture, by Michæl Faraday. — Phil. Trans. 1857.

vuto sopra un foglio di carta bianca o sopra una lastra di vetro arruotato alla distanza di poco più che sei piedi, la macchia di luce sul foglio di carta è più larga che il buco dello spillo, e invece di essere limitata dall'ombra è circondata da una serie d'anelli colorati, separati da oscuri intervalli. Gli anelli sono più distinti in proporzione alla piccolezza del raggio (N. 201). Quando la luce è bianca, vi sono sette anelli che dilatansi o si contraggono con la distanza della carta dal buco. Come questa diminuisce, la macchia bianca centrale si contrae ad un punto e svanisce; e nell'accostarsi sempre più da vicino, gli anelli gradatamente s'accostano e si riuniscono sopra la suddetta macchia, talmente che il centro assume successivamente le tinte le più intense e vivaci. Quando la luce è omogenea, rossa per esempio, gli anelli sono alternativamente rossi e neri e più numerosi, e la loro larghezza varia col colore, essendo il più largo in luce rossa, ed il più stretto in violetta. Le tinte delle frange colorate dalla luce bianca e la loro obliterazione dopo il settimo anello, nascono dalla sovrapposizione di differenti ordini di frange di tutti i raggi colorati. Le ombre degli oggetti sono pure contornati da frange colorate, quando sono tenuti sotto un sottile raggio di luce. Se il taglio d'un coltello o un capello, p. e., è tenuto in detto raggio, i raggi invece di procedere in linea retta, passato quell'orlo, vengono inclinati in dentro, quando sono del tutto accosto ad esso, e quindi procedono fino al diaframma per mezzo di linee curve chiamate iperbole; così che l'ombra dell'oggetto è allargata, e invece di essere tutta limitata dalla luce, è circondata o orlata di frange colorate alternanti con fascie nere, che sono più distinte, quanto più è piccolo il foro dello spillo (N. 202). Le frange sono totalmente indipendenti dalla forma o dalla densità dell'oggetto: essendo le stesse quando esso è tondo o puntuto, se di vetro o di platino. Quando i raggi che formano le frange arrivano al diaframma, sono di differenti lunghezze, in

conseguenza del cammino curvo che seguono dopo avere passato lo spigolo dell'oggetto. Le onde sono per questo in fasi o stati differenti di vibrazione, e o cospirano a formare frange colorate o distruggonsi a vicenda negl'intervalli oscuri. Le frange colorate che orlano le ombre degli oggetti furono osservate da prima e descritte da Grimaldi nel 1665. Oltre queste frange egli fece conoscere che ve ne sono altre nelle ombre de' corpi sottili esposti ad un piccolo raggio solare, fenomeno che già è stato detto aver somministrato al dottor Young i mezzi di provare, fuori d'ogni dubbio, che gli anelli colorati sono prodotti dalla interferenza della luce.

Si può concludere che le sostanze materiali derivano i loro colori da due cause differenti: alcune dalla legge d'interferenza come i metalli iridescenti, le penne di pavone ecc., altri da assorbimento disuguale dei raggi di luce bianca come il vermiglio, l'oltremare, i panni turchini o verdi, i fiori ed il maggior numero de' corpi colorati. I fenomeni di cui ultimamente abbiamo parlato, sono stati considerati molto difficili a conciliarsi con la teoria ondulatoria della luce, e molto si è discusso su quello che succede de' raggi assorbiti. Ma questa quistione imbarazzante, è stata abilmente risoluta da J. Herschel in una Memoria profonda sull'assorbimento della Luce dei Mezzi Colorati, e la risposta non può esser meglio data che colle sue proprie parole. Si deve peraltro premettere, che siccome tutti i corpi trasparenti sono attraversati dalla luce, si presume che siano permeabili all'etere: Herschel dice: « Ora per quel che riguarda solamente il fatto generale dell'impedimento ed ultima estinzione della luce nel suo passaggio a traverso i mezzi densi, se noi paragoniamo le teorie corpuscolare ed ondulatoria, ritroveremo che la prima ricorre alla nostra ignoranza, la seconda alla nostra intelligenza, per la spiegazione dei fenomeni di assorbimento. Nell'accingerci a spiegare l'estinzione della luce per mezzo della dottrina corpuscolare, noi dobbiamo

ragionare per la luce così estinta come per un corpo materiale che non possiamo supporre distruttibile. Esso nondimeno può essere trasformato; e tra gli agenti imponderabili, come calorico, elettricità ec., può esservi quello che stiamo ricercando per la luce, che è diventata così relativamente stagnante. Il potere calorifico dei raggi solari dà a primo aspetto plausibilità all' idea della trasformazione della luce in calorico per l' assorbimento. Ma quando noi passiamo ad esaminare l' argomento più d' appresso, lo ritroviamo imbarazzante da tutti i lati per molte difficoltà. Come va, per esempio, che i raggi i più luminosi non sono i più calorifici, ma che al contrario l' energia calorifica accompagna colla sua più grande intensità i raggi che posseggono poteri luminosi comparativamente deboli? Queste e altre quistioni di simile natura possono forse ammettere risposta in uno stato più avvanzato delle nostre conoscenze: attualmente però non v'ha una risposta chiara. Egli non è senza ragione, pertanto, che la questione — Che n' è della luce? — che è stata agitata tra i fotologisti dell' ultimo secolo, sia stata tenuta come di alta importanza non meno che di alta oscurità per i filosofi corpuscolari. Dall'altro canto la risposta alla quistione somministrata dalla teoria ondulatoria della luce, è semplice e chiara. La dimanda — Che n' è della luce? si confonde con una più generale — Che n' è del moto? E la risposta fondata nel principio dinamico si è, che esso continua per sempre. Niun moto, a parlare in stretto senso, è distrutto: ma può essere diviso; e le parti divise possono opporsi, ed in fatto distruggersi vicendevolmente. Un corpo urtato, quantunque perfettamente elastico, vibra per un certo tempo e quindi si vede cadere nel suo primitivo riposo. Ma questo riposo apparente (anche prescindendo dalla ricerca di quella parte del movimento che può essere portato via dall' aria ambiente) non è altro che uno stato di movimento suddiviso e che si distrugge a vicenda, nel

quale ogni molecola continua ad essere agitata da un' indefinita moltitudine di onde riflesse internamente, e propagate a traverso il corpo in ogni possibile direzione da ogni punto della sua superficie, nella quale urtano successivamente. La sovrapposizione di queste onde opererà (è facile vederlo) alla lunga la loro mutua distruzione, che sarà tanto più completa, quanto la figura del corpo è più irregolare, e quanto maggiore è il numero delle interne riflessioni. » Così J. Herschel col riportare l' assorbimento della luce alla suddivisione ed alla mutua distruzione delle vibrazioni dell' etere nell' interno dei corpi, porta un' altra classe di fenomeni sotto le leggi della teoria ondulatoria.

Secondo l' ipotesi di Rankin sui vortici molecolari (vedi pag. 129) l' assorbimento della luce e il calorico raggiante consistono nella traslazione di movimento dalle molecole alle loro atmosfere, e invertendo, la emissione della luce e del calorico raggiante è la trasmissione di movimento dalle atmosfere alle molecole. La gran velocità della luce e del calorico è una naturale conseguenza di questa ipotesi, secondo la quale le masse vibratorie devono essere estremamente piccole, paragonate con le forze esercitate da esse.

Il mezzo etereo che occupa lo spazio, si suppone penetri tutte le sostanze materiali, occupando gl' interstizi fra le loro molecole; ma nell' interno dei mezzi rifrangenti l'etere esiste in uno stato di elasticità minore, paragonata con la sua densità nel vuoto: e quanto più rifrangente è il mezzo, tanto minor è l'elasticità dell'etere dentro di lui. Quindi le onde della luce sono trasmesse con minore velocità in tali mezzi, come vetro e acqua, che nell' etere esterno. Appena un raggio di luce arriva alla superficie di una sostanza diafana riflettente, p. e. d' una lastra di vetro, esso comunica le sue ondulazioni all' etere vicino in contatto con la superficie, che così diventa un nuovo centro di movimento, e due onde emisfe-

riche sono propagate da ogni punto di questa superficie; una delle quali procede in avanti nell' interno del vetro con una velocità minore che nelle onde incidenti, e l' altra è trasmessa indietro nell' aria con una velocità eguale a quella colla quale arrivò (N. 203): così, quando è refratta, la luce muovesi con differente velocità fuori e dentro il vetro; quando è reflessa, il raggio va e viene colla stessa velocità. Le particelle eteree fuori del vetro e che comunicano i loro movimenti alle particelle dell' etere denso e meno elastico dentro del vetro, sono analoghe alle piccole palle elastiche che urtano le grandi: perocchè parte del movimento è comunicato alle palle maggiori e le piccole saranno rimandate indietro. Le prime cagionerebbero l' onda refratta, e le ultime la riflessa. All' opposto quando la luce passa dal vetro nell' aria, l' azione è simile alle palle grandi che urtano le piccole. Queste ricevono un movimento che cagionerebbe il raggio refratto e la parte del movimento ritenuto dalle grandi cagionerebbe l' onda reflessa; così che quando la luce passa a traverso una lastra di vetro o di altro mezzo differente in densità dall' aria, vi è una riflessione alle due superfici, ma questa differenza esiste tra le due riflessioni: una è cagionata da una vibrazione nella stessa direzione con quella del raggio incidente, e l' altra da una vibrazione nella direzione opposta.

Un' onda sola d' aria o d' etere non produrrebbe la sensazione del suono o della luce. Affine di eccitare la visione, le vibrazioni delle molecole di etere devono essere regolari, periodiche e spessissimo ripetute, e siccome l' orecchio continua ad essere agitato per breve tempo dopo l' impulso, per il quale solo un suono diventa continuo, così ancora le fibre della retina secondo D' Arcet continuano a vibrare per circa l' 8ª parte d' un secondo dopo esser cessata la causa eccitatrice. L' intervallo di tempo, durante il quale l' impressione dura, è più lungo per la luce turchina che per la rossa o bianca:

esso non deve esser meno di 0″·34. Chiunque deve avere osservato, quando una forte impressione vien fatta da una luce brillante, che un oggetto rimane visibile per un breve tempo dopo l'impressione sopra gli occhi, e ciò si suppone essere conseguenza delle vibrazioni continuate delle fibre della retina. Ordinariamente la retina diventa insensibile agli oggetti debolmente illuminati, quando sono davanti di continuo. Se l'occhio sia rivolto altrove per un momento, l'oggetto diventa di nuovo visibile. Egli è probabile per questa ragione che il barbagianni faccia un movimento così speciale colla testa quando sta guardando gli oggetti nel crepuscolo. Può esser ben possibile, che molte vibrazioni siano eccitate nel mezzo etereo, incapaci di produrre ondulazioni nelle fibre della retina umana, le quali pure hanno un potente effetto su quelle degli altri animali o degli insetti. Questi possono ricevere impressioni luminose delle quali noi siamo totalmente inconsci, e al tempo stesso essi possono essere insensibili alla luce e ai colori che fanno impressione su gli occhi nostri, cominciando le loro percezioni dove finiscono le nostre.

SEZIONE XXI.

Polarizzazione della luce — Definizione — Polarizzazione per rifrazione — Proprietà della Tormalina — Refrazione doppia — Ogni luce doppiamente refratta è polarizzata — Proprietà dello spato d'Islanda — La tormalina assorbe uno dei due raggi refratti — Ondulazioni della luce naturale — Ondulazioni della luce polarizzata — Assi ottici dei cristalli — Scoperte di Fresnel sui raggi che passano lungo gli assi ottici — Polarizzazione per riflessione.

Nel dare uno sbozzo della costituzione della luce è impossibile omettere la proprietà straordinaria della sua polarizzazione, « i fenomeni della quale, dice J. Herschel, sono così singolari e vari che a chi abbia solo studiato

i rami comuni dell'ottica fisica, pare d'entrare in un mondo nuovo, tanto splendido da renderlo uno dei rami i più aggradevoli delle ricerche sperimentali, e così fertile nelle vedute che apre sulla costituzione dei corpi naturali e del più secreto meccanismo dell'universo, da metterlo nel primissimo posto delle scienze fisico-matematiche: posto ch'esso mantiene per la rigorosa applicazione del ragionamento geometrico che la sua natura ammette e richiede. »

La luce si dice polarizzata, quando essendo stata una volta riflessa o refratta, è resa incapace d'essere di nuovo riflessa o refratta a certi angoli. In generale quando un raggio di luce è riflesso da un quadrello di cristallo o d'alcuna altra sostanza, esso può essere riflesso una seconda volta da un'altra superficie e passerà ancora liberamente a traverso i corpi trasparenti. Se un raggio di luce è riflesso da un quadrello di cristallo ad un angolo di 57°, esso è reso totalmente incapace di riflessione alla superficie d'un altro quadrello di vetro in certe definite posizioni, ma sarà completamente riflesso dal secondo quadrello in altre posizioni. Il raggio suddetto perde similmente la proprietà di penetrare i corpi trasparenti in particolari posizioni, mentre è trasmesso liberamente dagli stessi corpi in altri. La luce così modificata da essere incapace di riflessione e trasmissione in certe direzioni, è detta luce polarizzata.

La luce può essere polarizzata per riflessione da una superficie levigata, e la stessa proprietà è ancora impartita dalla refrazione. Spiegherò questi metodi di polarizzazione della luce, darò un breve cenno delle sue proprietà le più rimarchevoli, e cercherò descrivere alcuni degli splendidi fenomeni che la polarizzazione presenta.

Se una tormalina bruna ch'è un minerale generalmente cristallizzato nella forma d'un prisma lungo, sia tagliata longitudinalmente cioè parallelamente all'asse del prisma in lastre di circa la 30ma parte d'un pollice di gros-

sezza, e le superfici siano levigate, gli oggetti luminosi possono essere veduti a traverso di esse come a traverso le lastre di vetro colorato. L'asse di ogni lastra è nella sua sezione longitudinale parallela all'asse del prisma da cui è stata tagliata (N. 204). Se una di queste lastre sia tenuta perpendicolarmente tra l'occhio ed una candela accesa e girata lentamente attorno al suo proprio piano, nessun cangiamento avrà luogo nella immagine della candela. Ma se la lastra sia tenuta in una posizione fissa, col suo asse o la sezione longitudinale verticale, quando una seconda lastra di tormalina è interposta tra la prima e l'occhio, parallela alla stessa e girata lentamente attorno al proprio piano, un cangiamento rimarchevole succederà nella natura della luce. Perocchè l'immagine della candela svanirà e comparirà alternativamente ad ogni quarto di rivoluzione della lastra, variando per tutti i gradi di lucentezza sino alla totale o quasi totale scomparsa, e quindi crescendo di nuovo per gli stessi gradi a quello che era prima che fosse diminuita. Questi cangiamenti dipendono dalle relative posizioni delle lastre. Quando le sezioni longitudinali delle due lastre sono parallele, la lucentezza dell'immagine è al suo massimo, e quando gli assi delle sezioni s'incrociano ad angoli retti, l'immagine della candela scomparisce. Così la luce nel passare per la prima lastra di tormalina ha acquistato una proprietà totalmente differente dalla luce diretta della candela. La luce diretta avrebbe penetrata la seconda lastra egualmente in ogni direzione, mentre il raggio refratto passerà solo a traverso la lastra stessa in particolari posizioni, ed è affatto incapace di penetrarla in altre. Il raggio refratto è polarizzato nel suo passaggio a traverso la prima tormalina, e l'esperienza dimostra ch'esso non perde mai questa proprietà, a meno che non sia influenzato da un'altra sostanza. Così una delle proprietà della luce polarizzata è l'incapacità di passare a traverso una lastra di tormalina perpendicolare ad essa

in certe posizioni, e la sua pronta trasmissione in altre ad angoli retti colla prima.

Molte altre sostanze hanno la proprietà di polarizzare la luce. Se un raggio luminoso cade sopra un mezzo trasparente che abbia la stessa temperatura, densità e struttura in ogni parte, come fluidi, gas, vetri e pochi minerali, regolarmente cristallizzato, esso è refratto in un solo raggio di luce per le leggi della refrazione ordinaria, secondo la quale il raggio che passa per la superficie refrangente dall' oggetto all' occhio, non abbandona mai un piano perpendicolare a quella superficie. Quasi tutti gli altri corpi come il maggior numero de' minerali cristallizzati, sostanze animali e vegetali, gomme, resine, gelatine e tutti i corpi solidi che hanno tensioni disuguali o per disuguale temperatura o pressione, posseggono la proprietà di duplicare l' immagine o l' apparenza d' un oggetto veduto a traverso loro in certe direzioni, perchè un raggio di luce naturale cadendo sopra le anzidette sostanze è refratto in due raggi che muovonsi con differenti velocità, e sono più o meno separati secondo la natura del corpo e la direzione del raggio incidente. Ogni qualvolta un raggio di luce naturale è diviso in due raggi nel suo passaggio a traverso una sostanza, tutti e due i raggi trasmessi sono polarizzati. Lo spato d' Islanda, carbonato di calce, che nel suo naturale clivaggio può essere spezzato in forma romboedrica, possiede la proprietà della refrazione doppia in grado eminente, come si può vedere, incollando un pezzo di carta con un largo buco di spillo sul lato dello spato il più lontano dall' occhio. Il buco comparirà doppio, quando sia tenuto alla luce (N. 205). Uno di questi raggi è refratto secondo la stessa legge come nel vetro o nell' acqua, nè abbandona il piano perpendicolare alla superficie refrangente, ed è per questo chiamato il raggio ordinario. Ma l' altro abbandona il piano perpendicolare, essendo refratto seguendo una differente e molto più complicata legge, e per questa ra-

gione è chiamato il raggio straordinario. Per la ragione stessa un' immagine è chiamata ordinaria, l' altra straordinaria. Quando lo spato è girato attorno nello stesso piano, l' immagine straordinaria del buco gira attorno l' immagine ordinaria, che resta fissa, essendo ambedue egualmente luminose. Ma se lo spato sia tenuto in una posizione e guardato a traverso una lastra di tormalina, si ritroverà, che quando la tormalina gira, le immagini variano nella loro relativa lucentezza ; l' una cresce in intensità sino che arriva ad un massimo, nel tempo stesso che l' altra diminuisce sino a scomparire, e così alternativamente ad ogni quarto di rivoluzione, dimostrando che ambedue i raggi sono polarizzati. Perchè in una posizione la tormalina trasmette il raggio ordinario e riflette lo straordinario, e dopo avere girato 90°, il raggio straordinario è trasmesso e l' ordinario riflesso. Così un' altra proprietà della luce polarizzata si è, che non può essere divisa in due raggi eguali per la doppia refrazione nelle posizioni dei corpi doppiamente refrangenti, nelle quali un raggio di luce comune sarebbe così diviso.

Se la tormalina fosse come gli altri corpi a doppia refrazione, ciascuno dei raggi trasmessi sarebbe doppio; ma questo minerale, quando è di una certa grossezza, dopo avere separata la luce in due raggi polarizzati assorbisce quello che soffre l' ordinaria refrazione, e conseguentemente mostra solo una immagine di un oggetto. Per questa ragione la tormalina è peculiarmente adatta per analizzare la luce polarizzata, la quale nulla mostra di rimarchevole sino a che si guarda a traverso la medesima tormalina o qualche altra cosa equivalente.

I raggi di luce, uscendo da una sostanza doppiamente refrangente, sono paralleli, ed è chiaro dall' esperienze precedenti che essi sono polarizzati in piani ad angoli retti l' un all' altro (N. 206). Se non che questo sarà meglio inteso considerando il cambiamento prodotto

nella luce comune per l'azione del corpo polarizzante. È stato dimostrato che le ondulazioni dell'etere che sono causa della sensazione della luce comune, vengono formate in ogni piano possibile ad angoli retti colla direzione nella quale il raggio si muove. Ma il caso è diversissimo dopo che il raggio è passato per una sostanza che refrange doppiamente, come lo spato d'Islanda. La luce allora procede secondo due raggi paralleli, le cui ondulazioni sono ancora in fatti trasverse alla direzione dei raggi, ma esse si compiono in piani ad angoli retti l'uno all'altro analogamente a due corde parallele tirate, una delle quali fa le sue ondulazioni solo in un piano orizzontale, e l'altra in uno verticale (N. 206). Così l'azione polarizzante dello spato d'Islanda e di tutte le sostanze a doppia refrazione è di separare un raggio di luce comune, le cui onde o ondulazioni sono in ogni piano, in due raggi paralleli, le cui ondulazioni giacciono in piani ad angoli retti l'uno all'altro. Per una semplice legge meccanica ogni movimento vibratorio del primo è risoluto in due movimenti vibratorii ad angoli retti reciprocamente. Il raggio di luce comune può essere assomigliato ad una verga rotonda, mentre i due raggi polarizzati sono come due regoli paralleli spianati in lungo, uno dei quali giace orizzontalmente sopra la sua superficie larga, e l'altro orizzontalmente pel suo spigolo. La trasmissione e l'arrestamento alternativo di uno di questi raggi spianati per mezzo della tormalina è simile alla facilità con che una carta può essere passata tra le sbarre d'una grata, o i fili metallici d'una gabbia, se vien presentata dalla parte dell'orlo, e l'impossibilità del suo passaggio in una direzione trasversale.

Sebbene generalmente accada che un raggio di luce passando a traverso lo spato d'Islanda sia separato in due raggi polarizzati, vi è ancora una direzione lungo la quale è rifratto in un raggio solo, e secondo la legge ordinaria. Questa direzione è chiamata l'asse otti-

co (N. 207). Molti cristalli ed altre sostanze hanno due assi ottici inclinati l'uno all'altro, lungo i quali un raggio di luce è trasmesso semplicemente colla legge della refrazione ordinaria. Il raggio straordinario è qualche volta refratto verso l'asse ottico come nel quarzo, nel zircone, nel ghiaccio ec., i quali sono detti per questo cristalli positivi; ma quando il detto raggio è allontanato dall'asse ottico, come nello spato d'Islanda, nella tormalina, nello smeraldo, nel berillo ec., i cristalli sono detti negativi, e questa è la classe più numerosa. Il raggio ordinario si muove con velocità uniforme dentro una sostanza doppiamente refrangente; se non che la velocità del raggio straordinario varia con la posizione del raggio relativamente all'asse ottico, essendovi un massimo, quando il suo movimento dentro il cristallo è ad angoli retti coll'asse ottico ed un minimo, quando è parallelo ad esso. Tra questi estremi la sua velocità varia secondo una legge determinata.

Era stato dedotto dalla azione dello spato d'Islanda sulla luce, che in tutte le sostanze a doppia refrazione uno solo de' raggi è rivolto in disparte dal piano della refrazione ordinaria, mentre l'altro segue la legge ordinaria; e la grande difficoltà di osservare i fenomeni tendeva a confermare questa opinione. Fresnel però dimostrò con una ricerca profondamente matematica, a priori, che il raggio straordinario deve essere mancante nel vetro ed in altre sostanze non cristallizzate, e che esso deve necessariamente esistere nel carbonato di calce, nel quarzo ed in altri corpi che hanno un asse ottico, ma che in una classe numerosa di sostanze che posseggono due assi ottici, i due raggi devono soffrire la straordinaria refrazione, e che conseguentemente ambedue devono deviare dal loro piano originale; e questi risultati sono stati perfettamente confermati dai successivi esperimenti. Questa teoria della refrazione, che per la generalizzazione sua è forse inferiore soltanto alla legge

della gravitazione, ha inscritto il nome di Fresnel tra quelli che non periscono, e la sua morte prematura è stata sentita con profondo dolore da tutti quelli che si addentrano nei più reconditi sentieri delle ricerche scientifiche.

Quando un raggio di luce comune è in parte riflesso sopra una superficie trasparente ed in parte per la stessa trasmesso, i raggi reflessi e refratti contengono quantità eguali di luce polarizzata, e i loro piani di polarizzazione sono ad angoli retti l'uno all'altro: quindi una successione di quadrelli di vetro darà un raggio polarizzato per refrazione. Perchè se un raggio di luce comune passa a traverso di essi, parte di esso sarà polarizzata dal primo quadrello, il secondo polarizzerà una parte del primo resto del raggio che lo attraversa, e così succederà a poco a poco, sino che tutto il raggio sia polarizzato, eccetto la parte di esso perduta per riflessione sopra le differenti superfici o per assorbimento. Questo raggio è polarizzato in un piano ad angoli retti al piano di riflessione, cioè ad angoli retti al piano che passa per il raggio incidente e reflesso (N. 208).

La via di polarizzare la luce con maggiore facilità è quella per riflessione. Un quadrello di cristallo messo sopra un pezzo di drappo nero in una tavola dinnanzi ad una finestra aperta, comparirà d'una lucentezza uniforme per la riflessione del cielo o delle nubi: ma se esso è guardato a traverso una lastra di tormalina che abbia il suo asse verticale, invece di essere illuminato come prima, sarà oscurato da una larga macchia nuvolosa, che ha il suo centro affatto nero, la quale si ritroverà prontamente, alzando od abbassando l'occhio, e solo sarà visibile allorquando l'angolo d'incidenza è 57°, cioè quando la linea dall'occhio al centro della macchia nera fa un angolo di 33° con la superficie del riflessore (N. 209). Quando la tormalina vien girata attorno al proprio piano, la nube oscura dimi-

nuirà e svanirà del tutto, quando l'asse della tormalina è orizzontale, e allora ogni parte della superficie del vetro sarà egualmente illuminata. Mentre la tormalina gira, la macchia nuvolosa apparirà e svanirà alternativamente ad ogni quarto di rivoluzione. Così quando un raggio di luce è incidente sopra un quadrello di cristallo ad un angolo di 57°, il raggio riflesso è reso incapace di penetrare una lastra di tormalina, il cui asse è nel piano d'incidenza. Conseguentemente esso ha acquistato l'istesso carattere come se sia stato polarizzato per trasmissione a traverso una lastra di tormalina coll'asse suo ad angoli retti al piano di riflessione. È stato ritrovato per mezzo della esperienza che questo raggio polarizzato è incapace d'una seconda riflessione a certi angoli ed in certe posizioni del piano incidente. Perocchè, se un altro quadrello di cristallo che ha una superficie annerita, sia così situato da fare un angolo di 33° col raggio riflesso, l'immagine del primo quadrello sarà riflessa nella sua superficie, e sarà alternativamente illuminata ed oscurata ad ogni quarto di rivoluzione del quadrello annerito, secondo che il piano di riflessione è parallelo o perpendicolare al piano di polarizzazione. Poichè questo accade qualunque sia il mezzo col quale la luce sia stata polarizzata, ciò dimostra un'altra generale proprietà della luce polarizzata, la quale proprietà consiste in questo, che la detta luce è incapace di riflessione in un piano ad angoli retti col piano di polarizzazione.

Tutte le superfici che riflettono, sono capaci di polarizzare la luce, ma l'angolo d'incidenza al quale la luce è completamente polarizzata, è differente in ogni sostanza (N. 210). È noto che l'angolo per la lastra di cristallo è 57°; nel *crown-glass* è 56° 55′, e niun raggio sarà completamente polarizzato per mezzo dell'acqua, a meno che l'angolo d'incidenza non sia di 53° 11′. Gli angoli ai quali le differenti sostanze polarizzano la luce sono determinati da una semplicissima ed elegante legge

scoperta da Brewster « che la tangente dell' angolo polarizzante per un mezzo qualunque è eguale al seno dell' angolo d' incidenza diviso pel seno dell' angolo di refrazione di quel mezzo. » Quindi anche il potere refrattivo d' un corpo opaco è noto, quando il suo angolo polarizzante sia stato determinato.

Se un raggio polarizzato per refrazione o per riflessione da una sostanza non metallica sia guardato a traverso un pezzo di spato d' Islanda, ogni immagine alternativamente svanirà e ricomparirà ad ogni quarto di rivoluzione dello spato, o giri da dritta a manca o viceversa; il che mostra che le proprietà del raggio polarizzato sono simmetriche da ogni lato del piano di polarizzazione.

Sebbene vi sia un angolo solo in ogni sostanza, al quale la luce è completamente polarizzata per una riflessione, non di meno può ancora essere polarizzata a qualsisia angolo d' incidenza per mezzo di un sufficiente numero di reflessioni. Perocchè, se un raggio cade sopra la superficie superiore di una pila di lastre di vetro ad un angolo più o meno grande che un angolo polarizzante, una parte solamente del raggio riflesso sarà polarizzata, ma una parte di quello che è trasmesso sarà polarizzata per riflessione alla superficie della seconda lastra, parte alla terza, e così via via sino che sia tutto polarizzato. Questo apparecchio è il migliore: ma una lastra di vetro che abbia la sua superficie inferiore annerita, od anche una tavola levigata, risponderà bene al proposito.

SEZIONE XXII.

Fenomeni presentati dal passaggio della luce polarizzata a traverso la mica ed il solfato di calce — Immagini colorate prodotte dalla luce polarizzata che passa a traverso i cristalli a uno e a due assi ottici — Polarizzazione circolare — Polarizzazione ellittica — Scoperte di Biot, Fresnel, ed Airy — Immagini colorate prodotte dall'interferenza dei raggi polarizzati — Fluorescenza.

Tale è la natura della luce polarizzata e delle leggi ch'essa segue. Ma è appena possibile il dare un'idea dello splendore de' fenomeni ch'essa offre in certe circostanze che ora tenterò descrivere.

Se la luce polarizzata per riflessione da un quadrello di cristalli è veduta a traverso una lastra di tormalina con la sezione longitudinale verticale, una nube oscura col suo centro totalmente nero sarà veduta sopra il cristallo. Ora se una lastra uniforme di mica, di circa la 33ma parte di un pollice di grossezza, sia interposta tra la tormalina ed il vetro, la macchia oscura svanirà immantinente, ed in vece sua apparirà una successione di colori i più superbi, che variano con ogni inclinazione della mica, dal rosso il più carico al più vivo verde, bleu e porpora (N. 211). Perchè essi possano essere visti a perfezione, la mica deve girare ad angoli retti sul suo proprio piano. Quando la mica vien girata in un piano perpendicolare al raggio polarizzato, si ritroverà che vi sono in essa due linee dove i colori interamente svaniscono. Questi sono gli assi ottici della mica, la quale è una sostanza birefrangente con due assi ottici, lungo i quali la luce è rifratta in un raggio solo. Nessun colore è visibile nella mica, qualunque sia la sua posizione rispetto alla luce polarizzata, senza l'aiuto della tormalina, che separa il raggio trasmesso in due raggi di luce colorata complementari l'uno dell'altro, cioè che presi insieme formerebbero la luce bianca. La tormalina assorbe l'uno di questi, l'altro è trasmesso: per

questo la tormalina è chiamata la lastra analizzatrice. La verità di ciò apparirà più prontamente, se una pellicola di solfato di calce, grossa tra la ventesima e la sessantesima parte di un pollice sia usata in luogo della mica. Quando la pellicola è di grossezza uniforme, un colore solo sarà veduto se venga posta tra la lastra analizzatrice ed il cristallo riflettente, come sarebbe, per esempio, il rosso. Ma quando la tormalina gira, svanirà a gradi il rosso sino a che la pellicola sia senza colore: quindi assumerà una tinta verde che crescerà ed arriverà al suo massimo quando la tormalina ha girato per 90 gradi: dopo ciò il verde svanirà ed il rosso ricomparirà alternativamente ad ogni quadrante. Così la tormalina separa la luce che è passata a traverso la pellicola in un raggio rosso e in uno verde: in una posizione essa assorbisce il verde e lascia passare il rosso, e nell'altra il rosso è assorbito ed il verde è trasmesso. Questo è provato dall'analisi del raggio con lo spato d'Islanda invece della tormalina, perocchè lo spato non assorbendo la luce, si vedranno due immagini del solfato di calce, rossa l'una, l'altra verde, e queste cangeranno colore ogni quarto di rivoluzione dello spato, diventando rosso il verde, e verde il rosso: e dove le immagini si sovrappongano, il colore è bianco, dimostrando così che il rosso e il verde sono complementari l'uno dell'altro. La tinta dipende dalla grossezza della pellicola. Pellicole di solfato di calce di 0·00124, e di 0·01818 d'un pollice rispettivamente, danno luce bianca in qualunque posizione siano tenute, purchè siano perpendicolari al raggio polarizzato, ma le pellicole d'intermedia grossezza daranno tutti i colori. Conseguentemente una lastra di solfato di calce che varii in grossezza fra la 0·00124ma e la 0·01818ma d'un pollice, comparirà rigata con tutti i colori, quando la luce polarizzata è trasmessa a traverso di essa. Un cambiamento nella inclinazione della pellicola o della mica o del solfato di calce è evidentemente equivalente alla variazione in grossezza.

Quando una lastra di mica tenuta quanto si può vicina all' occhio in tale inclinazione da trasmettere il raggio polarizzato lungo l' uno de' suoi assi ottici, è guardata a traverso la tormalina col suo asse verticale, presenta uno spettacolo il più splendido. La macchia nuvolosa nella direzione dell' asse ottico è veduta circondata da una serie di anelli vivamente colorati di forma ovale, divisi in due parti disuguali per una fascia curva nera che passa a traverso la macchia nuvolosa intorno la quale gli anelli sono formati. L' altro asse ottico della mica offre una immagine somigliante (N. 212).

Quando i due assi ottici d' un cristallo fanno un angolo piccolo l' un coll' altro, come nel nitro, le due serie d' anelli si toccano esteriormente: e se la lastra del nitro sia girata intorno al proprio piano, le fascie nere trasversali vanno sottoposte ad una varietà di cangiamenti, sino a che finalmente l' intera immagine riccamente colorata assume la forma della figura 8 attraversata da una croce nera (N. 213). Le sostanze ad un solo asse ottico non hanno che una serie d' anelli circolari colorati solamente con una croce nera larga, che passa pel suo centro, dividendo gli anelli in quattro parti eguali. Quando la lastra analizzatrice gira, questa figura si presenta ad ogni quarto di rivoluzione, ma nelle posizioni intermedie essa assume i colori complementari, la croce nera divenendo bianca.

È inutile tentare di descrivere i bellissimi fenomeni presentati da innumerevoli corpi che vanno soggetti a periodici cangiamenti nella forma e nel colore, quando la lastra analizzatrice gira: ma nessuno di essi mostra traccia di colore senza l' aiuto della tormalina, o d' un equivalente per decomporre la luce, e come se essa fosse necessaria per evocare all' esistenza questi bei spettri. La tormalina ha lo svantaggio di essere una sostanza colorita essa stessa: ma questo inconveniente può essere evitato impiegando una superficie riflettente come lastra analiz-

zatrice. Quando la luce polarizzata è riflessa da una lastra di cristallo sotto l'angolo polarizzante, la luce stessa sarà separata in due raggi colorati, e quando la lastra analizzatrice è girata intorno al proprio piano, rifletterà alternativamente ogni raggio ad ogni quarto di rivoluzione, così che tutti i fenomeni che sono stati descritti si vedranno per riflessione sopra la sua superficie.

Gli anelli colorati sono prodotti analizzando la luce polarizzata trasmessa a traverso del cristallo fuso e subitamente o disugualmente raffreddato; e per mezzo ancora di sottili lamine di cristallo piegate a mano, di gelatina indurita o compressa ec. In breve, tutti i fenomeni degli anelli colorati possono essere prodotti o permanentemente o transitoriamente in una quantità di sostanze pel calore e pel freddo, pel rapido raffreddamento, per la compressione, dilatazione ed indurimento; e un così piccolo apparecchio è necessario per eseguire tali esperimenti, che, come Giovanni Herschel dice, un pezzo di vetro da finestre, o una tavola levigata per polarizzare la luce, una lastra di ghiaccio trasparente onde produrre gli anelli, ed un frammento rotto di lamina di cristallo situato vicino all' occhio per scomporre la luce, sono i soli requisiti voluti per produrre uno de' più belli e splendidi spettacoli ottici.

La pressione produce notabili cangiamenti nelle ottiche proprietà dei cristalli. La compressione, perpendicolare all' asse, trasforma un cristallo ad un asse ottico in un altro a due. Una lamina di quarzo ed una di berillo, tagliate perpendicolarmente al loro asse, furono così compresse da Moignot e Soleil. Essi ritrovarono che il sistema semplice del quarzo, il quale è un cristallo positivo, fu duplicato nella direzione della compressione; mentre nel berillo, ch' è un cristallo negativo, la duplicazione era perpendicolare alla compressione. Nel quarzo, l' asse del doppio sistema coincideva colla linea della pressione, ma nella tormalina ch' è un cristallo negativo, la linea

che unisce i centri degli anelli era perpendicolare alla pressione.

Se un cristallo positivo vien compresso nella direzione del suo asse, la tinta degli anelli diminuisce, e quella di un negativo si accresce. Ma se i cristalli sono dilatati nella direzione del loro asse ottico, le tinte nei cristalli positivi si aumentano, e diminuiscono nei negativi.

Egli è stato osservato che quando un raggio di luce polarizzata per riflessione da una superficie non metallica è scomposto da una sostanza a doppia refrazione, offre delle proprietà che sono simmetriche alla dritta e alla sinistra del piano di riflessione, ed il raggio allora si dice polarizzato secondo questo piano. Questa simmetria non è distrutta, quando il raggio prima di essere analizzato traversa l' asse ottico d' un cristallo che non ha che un asse ottico, come evidentemente apparisce dalle forme circolari degli anelli colorati già descritti. Il quarzo regolarmente cristallizzato però forma eccezione. In esso, ancorchè i raggi passassero per l' asse ottico stesso, dove non vi è doppia rifrazione, la simmetria primitiva del raggio è distrutta, e il piano di polarizzazione primitiva devia o alla dritta o alla sinistra dell' osservatore con un angolo proporzionale alla grossezza della lastra di quarzo. Questo movimento angolare, o vera rotazione del piano di polarizzazione, che chiamasi polarizzazione circolare, è chiaramente provato dall' esperimento. Gli anelli colorati prodotti da tutti i cristalli che non hanno che un solo asse ottico, sono circolari e traversati da una croce nera concentrica cogli anelli, così che la luce svanisce interamente a traverso lo spazio rinchiuso nell' anello interno, perchè non vi è doppia refrazione nè polarizzazione lungo l' asse ottico. Ma nel sistema degli anelli prodotti da una lastra di quarzo le cui superfici sono perpendicolari all' asse del cristallo, la parte interna all' anello interno, in vece di essere priva di luce, è occupata da un' uniforme tinta rossa, verde, o bleu,

secondo la grossezza della lastra (N. 214). Suppongasi la lastra di quarzo essere grossa $\frac{1}{23}$, di pollice, essa darà il color rosso allo spazio dentro l'anello interiore; quando la lastra analizzante è girata nel proprio piano per un angolo di 17° e $\frac{1}{2}$, la tinta rossa svanisce. Se una lastra di cristallo di rôcca, grossa $\frac{1}{23}$ di pollice venga adoperata, la lastra analizzante deve girare per 35° prima che il rosso svanisca, e così via via, ogni 25ma parte di pollice in grossezza addizionale richiedendo una rotazione addizionale di 17° e $\frac{1}{2}$. Tal che è manifesto che il piano di polarizzazione gira nella direzione d'una spirale dentro il cristallo di rôcca. È da notarsi che in alcuni cristalli di quarzo il piano di polarizzazione gira da dritta a sinistra ed in altri da sinistra a dritta, sebbene i cristalli stessi differiscano solo d' una piccolissima, quasi impercettibile varietà di forma. In questi fenomeni la rotazione alla dritta si eseguisce secondo le stesse leggi e con la stessa energia come alla sinistra. Senonchè, se due lastre di quarzo che posseggono differenti disposizioni siano interposte, la seconda lastra distrugge o interamente o parzialmente il moto rotatorio che la prima aveva prodotto, secondo che le lastre sono di eguale o disuguale grossezza. Quando le lastre sono di grossezza disuguale, la deviazione è nella direzione della più grossa, ed è esattamente la stessa di quella che una terza lastra produrrebbe se fosse eguale in grossezza alla differenza delle due. Biot ha scoperto le stesse proprietà in una quantità di liquidi. L' olio di trementina e l' olio essenziale d' alloro fanno girare il piano di polarizzazione alla sinistra, mentre il siroppo di canna da zucchero ed una soluzione di canfora nell' alcool, lo fanno girare a dritta. Succede una compensazione per la sovrapposizione o mistura di due liquidi che posseggono queste opposte proprietà, purchè nessuna azione chimica abbia luogo. Fu pure osservata da Biot una notabile differenza tra l' azione delle particelle della

sostanza stessa quando è in stato liquido o quando è in stato solido, ma appena acquista la forma solida di zucchero, esso fa girare il piano di polarizzazione verso la dritta; proprietà che conserva anche quando sia di nuovo sciolto. Avvengono ancora dei casi, nei quali quei fenomeni succedono all' inversa.

Un raggio di luce che passa a traverso un liquido che possiede la polarizzazione circolare non è modificato, mescolando altri fluidi col liquido, come acqua, etere, alcool ecc., che non hanno la polarizzazione circolare; l' angolo di deviazione rimanendo esattamente lo stesso come avanti la mistura. Quindi Biot inferisce che l' azione esercitata dai liquidi in questione non dipende dalla loro massa, ma che è un' azione molecolare esercitata dalle particelle elementari della materia, azione che solo dipende dalla costituzione individuale, ed è interamente indipendente dalle posizioni e mutue distanze delle particelle rispetto le une alle altre.. Queste importanti scoperte mostrano che la polarizzazione circolare sorpassa il potere dell' analisi chimica, dando certa e diretta prova della somiglianza o differenza che esiste nella molecolare costituzione dei corpi, come pure della permanenza di questa costituzione o delle fluttuazioni alle quali può andar soggetta. Per esempio, nessuna chimica differenza è stata scoperta tra il siroppo di canna da zucchero ed il siroppo di zucchero d' uva. Eppure il primo fa girare il piano di polarizzazione a dritta e l' altro a sinistra; vi è dunque qualche differenza essenziale nella natura dei loro elementi. La differenza istessa si può notare tra il sugo di piante che danno zucchero simile a quello di canna, e altre che lo danno simile allo zucchero d' uva.

Se il cloruro di soda sia sciolto nell' acqua, il liquido non ha la polarizzazione circolare; ma se la soluzione sia fatta cristalizzare, alcuni dei cristalli rivolgono la luce a dritta e gli altri a sinistra. Ora se tutti i cristalli di

una specie siano raccolti, e disciolti, il liquido non avrà la polarizzazione circolare; ma se i cristalli siano riformati ancora, alcuni di essi gireranno la luce a dritta, gli altri a sinistra, sebbene solo quelli d' una sola qualità siano stati disciolti.[1]

È un fatto stabilito da Biot che nella polarizzazione circolare le leggi di rotazione seguite dai differenti semplici raggi di luce, sono dissimili nelle differenti sostanze. Quindi ei deduce che la deviazione dei raggi semplici fra loro non deve risultare da una speciale proprietà del principio luminoso solamente, ma che l' azione propria delle molecole deve ancora concorrere nel modificare le deviazioni dei raggi semplici differentemente in differenti sostanze.

Una delle più splendide scoperte di Fresnel è la produzione della polarizzazione circolare ed ellittica per l'interna riflessione della luce che passa a traverso il cristallo. Egli ha dimostrato, che se la luce polarizzata per mezzo di uno dei metodi usuali sia due volte riflessa entro un rombo di vetro (N. 169) d' una data forma, le vibrazioni dell' etere che sono perpendicolari al piano d' incidenza saranno ritardate di un quarto d' una vibrazione; il che fa che le particelle vibranti descrivono dei cerchi, e la successione di tali particelle vibranti a traverso l' estensione d' un' onda formi sul totale un' elice circolare, od una curva simile a quella di un cavatappi. Non di meno questo accade solo quando il piano di polarizzazione è inclinato ad un angolo di 45° al piano d' incidenza. Quando questi due piani formano un angolo o maggiore o minore, la successione delle particelle vibranti forma un' elice ellittica, la cui curva può essere rappresentata coll' intrecciare un filo in spirale attorno una verga ovale. Queste curve gireranno a destra o a a sinistra, secondo la posizione del piano incidente.

Il movimento del mezzo etereo nella polarizzazione

1 Marbach di Breslau.

ellittica e circolare può essere rappresentato da quello analogo di una corda tesa; perchè se l'estremità di tale corda sia agitata ad eguali e regolari intervalli per mezzo di un movimento vibratorio interamente confinato in un piano, la corda sarà gittata in una curva ondulante che giace interamente in questo piano. Se a tal movimento vien sopraggiunto un altro movimento simile ed eguale ma perpendicolare al primo, la corda assumerà la forma d'un'elice ellittica: la sua estremità descriverà un'ellisse, ed ogni molecola della sua lunghezza successivamente farà lo stesso. Ma se il secondo sistema di vibrazione comincia esattamente un quarto d'ondulazione più tardi del primo, la corda prenderà la forma di un'elice circolare o d'un cavatappi, l'estremità si muoverà uniformemente in un cerchio, ed ogni molecola della corda farà lo stesso successivamente. Sembra per questo che la polarizzazione circolare ed ellittica possa essere prodotta per la composizione dei movimenti di due raggi nei quali le particelle dell'etere vibrano in piani che sono ad angoli retti l'un all'altro.

Il professor Airy in una Memoria profonda e bella, pubblicata nelle *Cambridge Transactions*, ha provato che tutte le differenti specie di luce polarizzata si ottengono dal cristallo di rôcca. Quando la luce polarizzata è trasmessa per l'asse di un cristallo di quarzo, nel raggio emergente le particelle d'etere si muovono secondo un'elice circolare; e quando è trasmessa obbliquamente da formare un angolo all'asse del prisma, le particelle eteree muovonsi in un'elice ellittica; crescendo la ellitticità coll'obliquità del raggio incidente, così che quando il raggio incidente cade perpendicolarmente all'asse, le particelle dell'etere si muovono in linea retta. Così il quarzo presenta ogni varietà di polarizzazione ellittica, anche rinchiudendo gli estremi casi in cui l'eccentricità è zero o eguale all'asse maggiore dell'ellisse (N. 215). In molti cristalli i due raggi sono così poco separati,

che soltanto dalla natura della luce trasmessa, si conoscono avere la proprietà della doppia refrazione. Il signor Fresnel scoperse per mezzo di esperimenti sulle proprietà della luce che passa per l'asse del quarzo, che essa consiste in due raggi sovrapposti che si muovono con differenti velocità, ed Airy ha dimostrato che in questi due raggi le molecole dell'etere vibrano secondo ellissi simili ad angoli retti l'una all'altra, ma in differenti direzioni: che la loro ellitticità varia coll'angolo che il raggio incidente fa coll'asse, e che per la composizione dei movimenti essi producono tutti i fenomeni della luce osservata nel quarzo.

È chiaro, dalle cose dette, che le molecole d'etere sempre eseguiscono le loro vibrazioni ad angoli retti colla direzione del raggio, ma differentissimamente nelle varie specie di luce. Nella luce naturale, le vibrazioni sono rettilinee ed in ogni piano. Nella polarizzata ordinariamente esse sono rettilinee, ma confinate in un piano; nella polarizzazione circolare, le vibrazioni sono circolari; e nella polarizzazione ellittica, le molecole vibrano in ellissi. Queste vibrazioni sono comunicate da molecola a molecola in linee rette, quando esse sono rettilinee; in un'elice circolare, quando esse sono circolari; ed in un'elice ovale o ellittica, quando sono ellittiche.

Alcuni fluidi godono della proprietà della polarizzazione circolare naturalmente, come l'olio di trementina, l'essenze d'olio di lauro e di limone, lo zucchero d'uva e vari liquidi.

La polarizzazione ellittica è prodotta per riflessione dalle superfici metalliche. Baden Powell la scoperse ancora nella luce riflessa dall'inchiostro chinese, dal cromato di piombo, dalla piombaggine ec. Airy osservò che la luce riflessa dal diamante è polarizzata ellitticamente, e Jamin ha dimostrato che questa sorta di polarizzazione è generalmente prodotta per riflessione da quasi tutti i corpi trasparenti, qualunque possa essere il loro potere ri-

frangente, specialmente dal cristallo ad angoli pochissimo differenti dalla legge delle tangenti.

L'acqua polarizza la luce circolarmente quando è tra i punti della massima densità, e solidificazione; quindi essa diviene cristallizzata.

Le immagini colorate della luce polarizzata derivano dall'interferenza dei raggi (N. 216). Fresnel e Arago trovarono che due raggi di luce polarizzata si interferiscono e producono frange colorate, se essi sieno polarizzati nell'istesso piano, ma che essi non si interferiscono, quando sono polarizzati in piani differenti. In tutte le posizioni intermedie sono prodotte delle frange d'intermedia lucentezza. L'analogia di una corda tesa mostrerà come ciò avvenga. Supponiamo che la corda sia mossa verso l'indietro e verso l'avanti orizzontalmente ad intervalli eguali, sarà dessa posta in una curva ondulante che giace tutta in un piano. Se a questo movimento ci si aggiunge un altro simile ed eguale che cominci esattamente una mezza ondulazione più tardi della prima, è evidente che il movimento diretto che sarà preso da ogni molecola in conseguenza del primo sistema di onde sarà ad ogni istante esattamente neutralizzato dal movimento retrogrado che prenderebbe in virtù del secondo, e la corda stessa rimarrà quiescente in conseguenza della interferenza.

Ma se il secondo sistema di onde è in un piano perpendicolare al primo, l'effetto sarebbe solo di attortigliare la corda, così che non vi sarebbe nessuna interferenza. I raggi polarizzati ad angoli retti l'un all'altro possono susseguentemente essere portati nello stesso piano senza acquistare la proprietà di produrre frange colorate, ma se appartengono ad un raggio che fu tutto originalmente polarizzato nello stesso piano, essi si interferiranno.

La maniera nella quale le immagini colorate sono formate, può essere concepita, considerando che quando la luce polarizzata passa per l'asse ottico d'una sostanza

a doppia refrazione, come la mica per esempio, è divisa in due raggi per mezzo della tormalina analizzante, e siccome uno dei due raggi è assorbito, non vi può essere alcuna interferenza. Ma quando la luce polarizzata passa per mezzo della mica in un' altra direzione, essa è separata in due raggi bianchi, e questi sono di nuovo divisi in quattro raggi per la tormalina che ne assorbe due; e gli altri due essendo trasmessi nel piano stesso con velocità diverse, si interferiscono e producono i fenomeni colorati. Se l'analisi sia fatta collo spato d'Islanda, l'unico raggio che passa per l'asse ottico della mica sarà rifratto in due raggi polarizzati in piani differenti, e non vi sarà nessuna interferenza. Ma quando due raggi sono trasmessi attraverso la mica, essi saranno separati in quattro per lo spato, due dei quali si interferiranno per formare un'immagine e gli altri due per la loro interferenza produrranno i colori complementari dell'altra immagine, quando lo spato ha girato per 90°; poichè in queste posizioni dello spato atte a produrre le immagini colorate, solo due raggi sono visibili ad un tempo, gli altri due essendo riflessi. Quando l'analisi è eseguita per riflessione, se due raggi sono trasmessi attraverso la mica, essi sono polarizzati in piani ad angoli retti fra loro. E se il piano di riflessione dell' uno dei due raggi sia ad angoli retti al piano di polarizzazione, solo uno di essi sarà riflesso e per questo nessuna interferenza può aver luogo: ma in tutte le altre posizioni della lastra analizzante ambedue i raggi saranno riflessi nel piano stesso, e conseguentemente produrranno anelli colorati per la loro interferenza.

È chiaro che una grande quantità di luce che noi vediamo deve essere polarizzata, poichè molti corpi che hanno il potere di riflettere o di rifrangere la luce, hanno ancora il potere di polarizzarla. La luce azzurra del cielo è completamente polarizzata ad un angolo di 74° dal sole in un piano che passa pel suo centro.

Una costellazione d'ingegni quasi senza pari in nes-

sun periodo nella storia delle scienze ha contribuito alla teoria della polarizzazione, sebbene la scoperta originale di questa proprietà della luce sia accidentalmente avvenuta, e sia derivata da un avvenimento che come mille altri sarebbe passato inosservato, se non accadeva ad una di quelle rare menti capaci di trarre le più importanti deduzioni da circostanze apparentemente insignificanti. Nel 1808, mentre Malus stava per accidente guardando con un prisma a doppia refrazione, un brillante tramonto di sole riflesso dalle finestre del palazzo del Luxemburgo in Parigi, girando questo prisma lentamente in tondo, fu maravigliato nel vedere una grandissima differenza nell'intensità delle due immagini: la più rifratta alternativamente cangiando dalla lucentezza all'oscurità ad ogni 4° di rivoluzione. Un fenomeno così inaspettato lo indusse ad investigarne la causa, donde ne derivò uno de' più eleganti e studiati rami dell'ottica fisica.

La fluorescenza, o la dispersione interna della luce, sebbene sia lungi dal possedere la bellezza o le varie e molte conseguenze della luce polarizzata, è poco meno meravigliosa. Una quantità di sostanze, come il *canary-glass,* una soluzione di solfato di chinino, lo spato fluore e un gran numero di sostanze organiche, hanno la proprietà di diminuire la rifrangibilità della luce per interna dispersione, conseguentemente di aumentare la lunghezza delle onde e di abbassare il colore della scala prismatica: per questo vien chiamata luce degradata o fluorescenza, perchè da prima scoperta nello spato fluore.

Se un pezzo di cristallo colorato dal cobalto sia fissato in un buco di una imposta di una finestra di una camera oscura, un pezzo di pasta da porcellana bianca, posta vicino comparirà azzurra: ma se la pasta è veduta a traverso un cristallo colorato in giallo dall'argento, essa comparirà quasi affatto nera; perchè il cristallo giallo assorbe tutti i raggi trasmessi dal cristallo azzurro. Se, nondimeno,

un pezzo di *canary-glass* sia posto sopra la pasta mentre è nera, ogni parte del *canary-glass* riplenderà come se fosse egli stesso luminoso, e con sì brillante luce, che qualunque scritto sulla pasta, invisibile da prima, può essere ora letto facilmente. Tale è il singolare fenomeno della dispersione interna, della luce degradata, o fluorescenza. La lucentezza non è in modo alcuno dovuta alla fosforescenza; perchè il *canary-glass* solo risplende, quando sia sotto l'influenza dei raggi attivi o azzurri; mentre i corpi fosforescenti rilucono per luce loro propria. L'ultima ha una emissione indipendente; dipendente la prima: può essere però che una connessione sia riscontrata tra loro in avvenire.

Si vede dall'investigazione analitica di questo fenomeno che le vibrazioni della sostanza fluorescente sono analoghe a quelle d'un corpo sonoro, come una campana o una corda musicale, che dà la nota fondamentale e le sue armoniche. Ora poichè vi è una reciproca azione tra le molecole della materia e la luce, quando la luce del sole è assorbita da una sostanza capace di fluorescenza, tutte le sue molecole sono poste in vibrazioni simili alle sue proprie, analogamente alla nota fondamentale; mentre al tempo stesso un certo numero di molecole cominciano a vibrare più rapidamente così esattamente che le note armoniche. Queste ultime formano nuovi centri di luce nella sostanza, i quali comunicano le loro vibrazioni al mezzo etereo che è intorno e costituiscono la fluorescenza o la luce degradata. Per esempio, nell'esperimento ch'è stato descritto, la luce azzurra comunica le sue vibrazioni a tutte le molecole del *canary-glass,* ed ancora alcune vibrazioni più rapide ad un certo numero di esse. Erano escluse tutte quelle dei raggi azzurri pel cristallo giallo tenuto avanti l'occhio, ma il cristallo giallo lasciava passare i raggi che emanavano con vibrazioni più rapide dal numero minore delle molecole, che così diventavano realmente nuovi centri di luce differenti dalla lu-

ce del sole, sebbene dovuti a questa; l'una celestiale, l'altra terrestre: e le ultime vibrazioni essendo più rapide che quelle della luce azzurra, la loro rifrangibilità era minore e per questo il loro colore più debole nella scala prismatica. Power calcolò da queste formule che la luce fluorescente è prodotta da ondulazioni le quali sono un terzo maggiore o minore al di sotto dell'altezza della generale vibrazione del mezzo, cioè al di sotto delle vibrazioni che tutte le molecole del corpo più prontamente assumono.

Il professor Stokes di Cambridge, il quale fece il precedente esperimento, ritrovò che i raggi chimici che provengono da un punto dello spettro solare, producono in una soluzione di solfato di chinina, una luce di color azzurro di cielo che emana in ogni direzione dal liquido e che questa luce fluorescente azzurra, quando viene analizzata, contiene tutti i raggi dello spettro: quindi ne inferì che il poter dispersivo o la fluorescenza aveva abbassata la rifrangibilità dei raggi chimici tanto da renderli visibili; e David Brewster osserva che il nuovo spettro di tutti i colori, nei quali si trasformano, deve possedere la proprietà straordinaria di essere uno spettro luminoso, o senza raggi chimici o pieno di essi. La dispersione nella soluzione di chinina è massima vicino alla superficie, ma l'emanazione azzurra procede da ogni parte del liquido; e Giovanni Herschel, che discoprì la proprietà fluorescente in questo liquido e nominolla luce epipolica, ritrovava che il rimanente del raggio, quando è derivato dalla soluzione, sebbene in apparenza non differente dalla luce bianca incidente, è nondimeno tanto mutato passando attraverso il liquido, che non è più capace di produrre la fluorescenza, sebbene sempre capace della comune dispersione. La luce azzurra proveniente dalla soluzione del chinino, quando fu esaminata, consisteva di raggi estendentisi sopra una gran parte dello spettro.

Un raggio solare passante per una specie turchiniccia

di spato fluore, fu osservato da Brewster, il quale s'accorse che il color azzurro non è superficiale, come pare essere, ma che alcune vene nell' interno del cristallo disperdono la luce azzurra, altre quella color rosa ed anche la luce bianca; in breve egli incontrò la fluorescenza in tanta varietà di sostanze, che conclude che essa può prevalere più o meno nel più gran numero dei solidi e dei liquidi. Draper di New-York provò che il risultato è lo stesso, sia la luce incidente polarizzata o no, e che la luce dispersa o degradata non è mai polarizzata, ma che essa emana in ogni direzione come se la sostanza fosse luminosa per sè stessa: egli fece degli esperimenti con luce proveniente da tutte le parti dello spettro solare e con varie sostanze, e sempre ritrovò che la rifrangibilità del raggio incidente era diminuito per l' interna dispersione e che il colore era cangiato secondo la nuova rifrangibilità. Draper ha pure dimostrato che la legge dell' azione e reazione prevale in tutti i fenomeni del raggio solare come in ogni altro dipartimento della natura: così che un raggio non può esser riflesso, refratto, molto meno assorbito, senza produrre qualche mutazione nel mezzo in cui ciò avviene; e Power provò analiticamente che i raggi solari non possono esercitare alcuna azione sopra un mezzo pel quale sono trasmessi, senza diminuzione di refrazione. Egli dice: « La nuova luce che emana da mezzi fluorescenti è appunto come ogni altra luce della stessa prismatica composizione. Nelle sue fisiche proprietà essa non ritiene traccia del suo parentado; è di origine terrestre, e i suoi colori dipendono semplicemente dalla sua nuova refrangibilità, nulla avendo che fare con quella dei raggi produttori, nè colla circostanza della loro pertinenza alla visibile o invisibile parte dello spettro. » Questi fenomeni possono solo esser spiegati colla teoria delle ondulazioni della luce.

SEZIONE XXIII.

Obbiezioni rimosse alla teoria delle ondulazioni tratte dalla differenza nell' azione del suono e della luce sotto le stesse circostanze — Dispersione della luce secondo la teoria delle ondulazioni — Prova finale di Arago, che la teoria delle ondulazioni è legge di natura.

I numerosi fenomeni dei colori periodici che derivano dalla interferenza della luce, che non ammettono spiegazione soddisfaciente da nessun altro principio che per la teoria delle ondulazioni, sono gli argomenti più forti in favore di questa ipotesi; e le circostanze ancora che una volta sembrarono sfavorevoli a questa dottrina, hanno dimostrato dietro l'investigazione accurata che derivano appunto solo dalla teoria stessa. Tale è l'erronea obbiezione che è stata fatta in conseguenza di una diversità nel modo d'agire della luce e del suono sotto le stesse circostanze in un caso particolare. Quando un raggio di luce da un punto luminoso e un suono divergente sono ambedue trasmessi per un piccolissimo buco in una camera oscura, la luce passa avanti direttamente ed illumina una piccola macchia sull'opposto muro, lasciando il resto nell'oscurità: mentre il suono entrando diverge in ogni direzione ed è udito in ogni parte della camera. Questi fenomeni nondimeno sono dirette conseguenze della teoria ondulatoria, invece di essere una discrepanza; giacchè nascono dalla grandissima diversità tra la grandezza delle ondulazioni del suono e quelle della luce. Le ondulazioni della luce sono incomparabilmente minori che la piccola apertura, mentre quelle del suono si ritrovano essere molto più grandi. Per questo quando la luce divergendo da un punto luminoso entra pel buco, i raggi intorno gli orli di questo sono obliqui e conseguentemente di differenti lunghezze, mentre quelli nel centro sono diritti, approssimativamente o interamente della stessa lunghezza. Cosicchè le piccole ondulazioni tra

il centro e gli orli sono in differenti fasi, cioè in differenti stati di ondulazione. Per tanto il numero maggiore di essi interferisce, e col distruggersi l'uno coll'altro producono l'oscurità intorno agli orli dell'apertura; mentre i raggi centrali, avendo le stesse fasi, si combinano e producono una macchia di luce brillante sul muro o sopra un foglio di carta direttamente opposto al foro. Le onde dell'aria che producono il suono, al contrario, essendo larghissime in paragone del buco, non divergono sensibilmente passando per esso, e sono per questo tutte così approssimativamente della lunghezza medesima o dello stesso stato d'ondulazione, in modo che niuna interferisce sufficientemente per distruggersi l'una coll'altra. Quindi tutte le particelle dell'aria nella camera si trovano in uno stato di vibrazione in modo che l'intensità del suono è quasi la stessa in qual si sia luogo. Per quanto convincenti possano essere le precedenti cose, l'esperimento seguente fatto da Arago sembra essere decisivo in favore della dottrina ondulatoria. Supponiamo che una lente piano-convessa di grandissimo raggio sia situata sopra una lastra di metallo levigatissima. Quando un raggio di luce polarizzata cade sopra quest'apparato ad un grandissimo angolo d'incidenza, gli anelli di Newton sono veduti al punto di contatto. Ma siccome l'angolo di polarizzazione del cristallo differisce da quello del metallo, quando la luce cade sulla lente all'angolo polarizzante del vetro, la macchia nera ed il sistema degli anelli scompariscono. Perchè, sebbene la luce in abbondanza continui ad essere riflessa dalla superficie del metallo, nessun raggio è riflesso dalla superficie del vetro, che è ad essa in contatto; conseguentemente nessuna interferenza può avervi luogo; il che prova fuori d'ogni dubbio che gli anelli di Newton risultano dall'interferenza della luce riflessa dalle due superfici in apparente contatto (N. 199).

Ad onta dell'applicazione piena di successo del sistema ondulatorio ai fenomeni luminosi, la dispersione

della luce per lungo tempo era una formidabile obbiezione a questa teoria; obbiezione che è stata rimossa dal professore Powell di Oxford.

Un raggio di sole cadendo sopra un prisma in vece d'essere refratto in un sol punto con luce bianca, è diviso ne' suoi colori componenti, i quali sono dispersi o sparpagliati inegualmente sopra uno spazio notabile, del quale la porzione occupata dai raggi rossi è la minore e quella sopra cui sono disposti i violetti, la più grande. Così i raggi dello spettro colorato, le onde dei quali sono di diverse lunghezze, hanno diversi gradi di refrangibilità e conseguentemente si muovono con differenti velocità tanto nel mezzo che trasmette la luce dal sole quanto nel mezzo refrangente od in ambedue; nel mentre che i raggi di tutti i colori vengono dal sole alla terra colla stessa velocità. Se di fatti le velocità de' diversi raggi fossero differenti nello spazio, l'aberrazione delle stelle fisse, che è in ragione inversa alla velocità, differirebbe per i differenti colori, ed ogni stella apparirebbe come uno spettro la cui lunghezza sarebbe parallela alla direzione del movimento della terra, il che non si ritrova andar d'accordo coll'osservazione. Inoltre non vi è tale differenza nelle velocità delle onde lunghe e corte dell'aria nel caso analogo de' suoni, poichè le note le più basse e le più alte sono udite nell'ordine nel quale sono prodotte. Infatti quando il raggio solare passa dall'aria nel prisma, la sua velocità è diminuita; e siccome la sua refrazione e per conseguenza la dispersione dipendono solo dalla velocità diminuita della trasmissione delle onde, esse devono essere le stesse per le onde d'ogni lunghezza, a meno che una connessione esista tra la lunghezza d'un'onda e la velocità colla quale è propagata. Ora questa connessione tra la lunghezza di un'onda di qualunque colore e la sua velocità o refrangibilità in un dato mezzo è stata dedotta dal professor Powel dietro le ricerche di Couchy sulle proprietà della luce rispetto una particolare modificazione del-

l'ipotesi ondulatoria. Quindi la refrangibilità de' vari raggi colorati computata da questa relazione per un dato mezzo, quando sia paragonata con la loro refrangibilità nel mezzo stesso determinata per la osservazione diretta, dimostrerà se la dispersione della luce cada sotto le leggi di questa teoria. Ma per far questo, è chiaro che la lunghezza delle onde deve essere ritrovata indipendentemente dalla refrazione, ed una bellissima scoperta di Fraunhofer fornisce i mezzi di farlo.

Questo fisico ottenne uno spettro perfettamente puro e completamente colorato con tutte le sue linee oscure e lucide per la interferenza della luce, col mezzo di un raggio di sole che passava per una serie di fili metallici fini paralleli che coprivano l'oggettivo d'un telescopio. In questo spettro formato indipendentemente dalla refrazione prismatica, le posizioni dei raggi colorati dipendono solo dalle lunghezze delle loro onde, e Fraunhofer trovava che gl'intervalli tra loro sono precisamente proporzionali alle differenze di queste lunghezze. Egli misurava le lunghezze delle onde dei diversi colori con sette punti fissi, determinati da sette fra le linee principali oscure e lucide. Il professor Powell valendosi di queste misure, ha fatto i dovuti calcoli ed ha ritrovato che la coincidenza della teoria coll'osservazione è perfetta per 10 sostanze la cui refrangibilità era stata in prima determinata da misure dirette di Fraunhofer, e per 10 altre la cui refrangibilità è stata più recentemente assicurata da Rudberg. Così nel caso di sette raggi in ognuna di venti sostanze differenti solide e fluide, la dispersione della luce ha luogo secondo le leggi della teoria ondulatoria, e non vi può esser dubbio che la dispersione in tutti gli altri corpi sarà ritrovata seguire la stessa legge. Egli è nondimeno condizione espressa della connessione fra la velocità della luce e la lunghezza delle sue ondulazioni, che gl'intervalli tra le molecole vibranti del fluido etereo abbiano una sensibile relazione colla

lunghezza d'una ondulazione. La coincidenza delle refrazioni computate con quelle osservate dimostra che questa condizione è soddisfatta dentro i mezzi refrangenti: l'aberrazione però delle stelle fisse conduce all'induzione, che questo non accada nelle regioni eteree, dove le velocità dei raggi di tutti i colori sono le stesse.

Per quanto tutto quel che precede sia in favore della teoria ondulatoria, la relativa velocità della luce nell'aria e nell'acqua è la finale e decisiva prova. Nella teoria newtoniana la velocità è maggiore nell'acqua che nell'aria; nella teoria ondulatoria è minore; quindi, se un paragone potesse esser fatto, si potrebbe decidere quale è la legge della natura. La difficoltà consisteva nel paragonare la velocità della luce passante per una piccola estensione d'acqua con la velocità della luce nell'aria la quale è di 10,000 volte maggiore che la velocità della terra nella sua orbita. Questo esperimento delicato e difficile fu fatto per mezzo d'un istrumento inventato da Wheatstone per misurare la velocità dell'elettricità. Consiste in un piccolo specchio che gira nel suo piano come un arcolaio. Quando si rivolge rapidissimamente, l'immagine riflessa d'un oggetto cangia di posizione sensibilmente in una frazione inconcepibilmente piccola di un secondo. Gli specchi adoperati nell'esperimento sono tali, da fare più di mille giri in un secondo, per il qual mezzo le posizioni delle due immagini della luce passante per l'aria e l'altra della luce passante per l'acqua di eguale estensione, si ritrovano tali da provare che la velocità della luce nell'aria e nell'acqua è come 4 a 3; mentre per la teoria newtoniana si è come 3 a 4. Per questa finale e decisiva prova la teoria ondulatoria può da ora innanzi essere riguardata come legge di natura. Questo esperimento fu eseguito da Fizeau e Leon Faucault dietro il consiglio di Arago, a cui la vista non permise di farlo da sè.

SEZIONE XXIV.

Raggi chimici o fotografici dello spettro solare. — Scoperte di Scheele, Ritter e Wollaston — Disegni fotografici di Wedgwood e Davy — Calotipo — Dagherrotipo — Cromatipo — Cianotipo — Collodione — Scoperte di Herschel nello spettro chimico — Scoperte di E. Becquerel della linee inerti nel medesimo. Spettro termico — Spettro fosforico — Proprietà elettriche — Raggi paratermici — Esperimenti di Moser e di Hunt — Struttura generale, proprietà antagonistiche dello Spettro Solare — Spettro defratto.

Lo spettro solare esercita un'azione energica sulla materia, producendo i cangiamenti i più maravigliosi e misteriosi nelle cose create organiche ed inorganiche.

Tutti i corpi sono probabilmente modificati dalla luce, ma essa agisce colla massima energia sopra quelli che hanno deboli affinità chimiche, impartendo loro proprietà che non avevano prima. Il collodione e i sali metallici, specialmente quelli d'argento le cui molecole sono ritenute insieme per un equilibrio instabile, sono di tutti i corpi, i più suscettibili alla sua influenza; gli effetti nondimeno variano con le sostanze adoperate e con i differenti raggi dello spettro solare, le chimiche proprietà dei quali non sono in nessuna maniera uguali. Fino dal 1772 Scheele dimostrò che il puro color bianco del cloruro d'argento era rapidamente oscurato dai raggi azzurri dello spettro solare; mentre i raggi rossi non hanno alcuno effetto sopra di esso: e nel 1801 Ritter scoperse che i raggi invisibili al di là dell'estremità violetta avevano la proprietà di annerire i sali d'argento; che questa proprietà diminuisce verso la parte meno refrangibile dello spettro, e che i raggi rossi hanno una qualità opposta: quella di ristabilire l'annerito sale d'argento nella sua originale purità; dal che egli inferiva che l'estremità la più refrangibile dello spettro ha un potere ossigenante, e l'altra quello di disossigenare. Wollaston trovò che la resina di guaiaco acqui-

sta un color verde nei raggi violetti e azzurri, e riprende la sua originale tinta nei rossi. Nessun tentativo era stato fatto per delineare gli oggetti naturali per mezzo della luce riflessa da loro, sino a che Wedgwood e Davy insieme si occuparono di questo soggetto. Essi produssero profili e tracce d'oggetti sopra superfici preparate col nitrato e cloruro d'argento, ma non riuscirono nel rendere i loro disegni permanenti. Questa difficoltà fu superata nel 1814 da Niepcé, che produsse una pittura permanente degli oggetti circostanti, mettendo nel foco di una camera oscura una lastra metallica coperta da una pellicola di asfalto sciolto nell'olio di lavanda.

Fox Talbot, senza avere nessuna notizia degli esperimenti di Niepcé, si occupava della stessa ricerca, e deve riguardarsi come un inventore indipendente della fotografia, una delle arti più belle dei tempi moderni. Egli fu il primo che riuscì nell'usare la carta chimicamente preparata per ricevere le impressioni dagli oggetti naturali; ed egli ha pure scoperto un metodo di fissare permanentemente le impressioni, cioè di rendere la carta insensibile all'azione ulteriore della luce. Nel calotipo, una delle applicazioni dell'arte di Talbot, questa superficie fotografica è preparata lavando la carta da scrivere levigata, prima con una soluzione di nitrato d'argento, quindi col bromuro di potassio e di nuovo col nitrato d'argento, asciugandola al fuoco dopo ciascuna lavatura. La carta in questo modo è resa così sensibile alla luce, che anche il passaggio d'una sottile nube è percettibile su di lei: conseguentemente deve essere preparata al lume di candela. Ritratti, fabbriche, insetti, foglie di piante, in breve ogni oggetto, è accuratamente delineato in pochi secondi; e nel foco d'una camera oscura gli oggetti i più minuti sono così esattamente delineati, che il microscopio rivela nuove bellezze.

Poichè l'effetto dell'azione chimica della luce è di distruggere l'affinità tra il sale e l'argento, Talbot ri-

trovò che affine di rendere queste impressioni permanenti sulla carta, era solo necessario lavarla con una soluzione di sale o con una soluzione di ioduro di potassio. Riguardo questi liquidi, sono loro stati sostituiti con vantaggio gli iposolfiti liquidi che sono più efficaci nel disciogliere e nel rimovere il sale non alterato, lasciando l'argento ridotto sulla carta. Il disegno calotipico è negativo, cioè i chiari e le ombre sono al rovescio di quello che sono in natura, ed il lato destro in natura è il sinistro nel disegno: ma se questo vien situato con la sua faccia compressa contro la carta fotografica tra una tavola ed una lastra di vetro e per breve tempo esposto al sole, si ottiene un disegno positivo e diretto come è in natura: le incisioni possono copiarsi esattamente per mezzo di questo semplice processo, ed un disegno diritto può essere prodotto ad una volta usando carta fotografica già fatta scura coll'esporla alla luce.

Mentre Fox Talbot era intento in queste bellissime scoperte in Inghilterra, Daguerre aveva portato alla perfezione e pubblicato quel maraviglioso processo pel quale ha costretto la natura a permanentemente incidere le opere sue proprie, e così gl'ingegni di Francia e d'Inghilterra si sono combinati nel perfezionare questa utile arte. Il rame coperto da uno strato d'argento si è successivamente impiegato da Daguerre per copiare la natura coll'azione della luce. La superficie della lastra è convertita in un ioduro d'argento, mettendola orizzontalmente con la sua faccia verso la parte inferiore di una cassetta coperta, nel fondo della quale vi è una piccola quantità di iodio che svapora spontaneamente. In tre o quattro minuti la superficie acquista una tinta gialla e allora difendendola bene dalla luce, essa deve essere collocata nel foco d'una camera oscura, dove un'immagine invisibile degli oggetti esterni sarà su di lei impressa in pochi minuti. Quando è cavata fuori, la lastra deve essere esposta in un'altra cassetta all'azione del

vapore di mercurio che si attacca a quelle parti della lastra che sono state esposte alla luce, ma non aderisce a quelle che sono state all'ombra: e siccome la quantità del mercurio sopra le altre parti è in esatta proporzione al grado dell'illuminazione, l'ombreggiatura della immagine è perfetta. L'immagine è fissata prima col levar via il iodio dalla lastra immergendola nell'iposolfito di soda, e quindi lavandola nell'acqua distillata; per questo processo il colore giallo vien distrutto, ed affinchè il mercurio sia reso permanente, la lastra deve essere esposta pochi minuti al vapore nitrico, quindi messa nell'acido nitrico contenente rame od argento in soluzione ad una temperatura di 61° ¼ di Fahrenheit per breve tempo, ed in ultimo pulita con creta. Questa parte finale del processo è dovuta al dottor Berre di Vienna.

Nulla può essere più bello delle ombreggiature di questi disegni chiaro-scuri, quando gli oggetti sono in quiete, ma il più piccolo movimento distrugge l'effetto: il metodo per tanto è più applicabile alle fabbriche che ai paesaggi. Manca solo il colore; ma le ricerche di J. Herschel danno ragione a credere che anche questo alla fine si potrà ottenere.

Le impressioni le più perfette delle alghe marine, delle foglie delle piante, delle penne ec. possono aversi col portare l'oggetto in vicino contatto con un foglio di carta fotografica tra una tavola ed una lastra di vetro: quindi esponendo il tutto al sole per breve tempo, e dopo fissandolo col processo descritto. I colori delle pitture variano colla preparazione della carta, per mezzo della quale quasi ogni tinta può esser prodotta.

Nel cromatipo, metodo fotografico peculiare scoperto da Hunt, è adoperato il cromato di rame sul quale un'immagine bruna negativa vien formata da prima, ma per l'azione continuata della luce essa si cangia in un disegno positivo giallo sopra fondo bianco: l'effetto ul-

teriore della luce è frenato col lavare la pittura nell' acqua pura.

Nei cianotipi, una classe di fotografie scoperta da J. Herschel, nella quale il cianogeno nelle sue combinazioni col ferro forma il fondo, le pitture sono bleu di Prussia e bianco.

Nel crisotipo dell' istesso eminente filosofo, l' immagine è da prima ricevuta sopra una carta preparata con del citrato di ferro ammoniacale e dopo lavata con una soluzione neutra d' oro. È fissata coll' acqua acidulata con acido solforico, ed in ultimo coll' idriodato di potassa; dal che ne risulta una fotografia bianca e pavonazza. È inutile cercare di descrivere i vari belli effetti che J. Herschel otteneva da chimici composti e dai sughi delle piante: il succo del papavero rosso dà un' immagine positiva azzurro-pavonazza; quello del tronco della Mattìola annua somministra un color roseo delicato sopra un fondo pallido color di paglia.

Dei disegni possono farsi colla esposizione alla luce del sole di tutte le sostanze composte che hanno una debole affinità chimica, ma le immagini sono spesso invisibili come nel dagherrotipo, fino a che siano portate fuori lavandole in qualche chimica preparazione. L' acqua per lo più basta. In fatto Herschel tirò fuori alcune dormienti figure fotografiche, soffiandovi sopra, ed alcune sostanze sono insensibili all' azione della luce fino che sono inumidite, come per esempio, la resina di guaiaco: le carte argentate però sono poco soggette all' influenza della umidità. Il potere dei raggi solari è aumentato in alcuni casi, mettendo una lastra di vetro in vicino contatto con la superficie sensibile.

Tutti questi diversi esperimenti, sebbene di altissima importanza, sono stati ora intralasciati. Si è trovato che la carta non corrisponde sempre per la fotografia, a motivo delle imperfezioni della sua struttura; le lastre d' argento sono troppo dispendiose; ed il cristallo fu ri-

trovato non essere atto a ricevere le impressioni. Nondimeno Niepcé de Victor ottenne dei bei risultati sopra cristalli intonacati di albumina mescolati a sostanze impressionabili, le quali somministrarono il mezzo pel quale l'arte è stata portata alla sua presente perfezione, e questo passo finale è dovuto a Scott Archer. Egli intonacava una lastra di cristallo sottilmente col collodione, cioè cotone fulminante sciolto in etere ed alcool, che si secca in una pasta delicata trasparente di estrema aderenza e di tale forte impressionabilità, che l'azione della luce è così istantanea, da imprimervisi una burrasca di mare od una nube passeggiera prima che abbiano avuto tempo di cangiare apparenza. Ora si producono paesaggi in chiaroscuro di grande bellezza, i quali per i metodi più lenti erano sole masse d'ombra cupa e luce chiara. L'architettura è anche meglio rappresentata, ma l'arte vien meno nel ritrarre la figura umana.

L'azione chimica accompagna sempre la luce solare; ma l'analisi dello spettro ha in parte rivelato la maravigliosa natura dell'emanazione. Nel fare tali ricerche sono state scoperte delle proprietà importantissime ed inaspettate da John Herschel, che imprime lo stampo del genio su tutto quello che tocca: i suoi eloquenti scritti possono soltanto dare un'idea adeguata del loro valore, aprendo un campo di ricerche vasto e nuovo. Il seguente breve ed imperfetto cenno de' suoi esperimenti è tutto quello che qui si può tentare:

Un certo grado d'energia chimica è distribuita per ogni parte dello spettro solare ed anche ad una considerevole estensione negli spazi oscuri ad ogni estremità. Questa distribuzione non dipende dalla refrangibilità dei raggi solamente, ma ancora dalla natura dei raggi stessi e dalle fisiche proprietà del mezzo analizzatore, sul quale i raggi sono ricevuti, i cui cangiamenti indicano e misurano la loro azione. La lunghezza dell'immagine fotografica dello stesso spettro solare varia con le

fisiche qualità della superficie sulla quale è impressa. Quando lo spettro solare è ricevuto sopra una carta preparata con bromuro d'argento, lo spettro chimico, come è indicato puramente dalla lunghezza della parte oscurata, inchiude dentro i suoi limiti l'intero spettro luminoso, estendendosi in una direzione molto al di là dell'estremo violetto e nell'altra giù fino all'estremità rossa; col tartarato d'argento l'oscurità non solo occupa tutto lo spazio sotto i raggi i più refrangibili, ma arriva molto al di là del rosso estremo. Sulla carta preparata col formobenzoato d'argento lo spettro chimico è tronco ai raggi aranci; col fosfato d'argento al giallo, e col cloruro d'oro termina col verde; col carbonato di mercurio finisce nel bleu, e nella carta preparata col percianuro d'oro e d'ammonio, e nitrato d'argento, l'oscuramento si trova del tutto al di là dello spettro visibile alla sua estremità più refrangibile, ed è solo la metà della sua lunghezza, mentre in alcuni casi l'azione chimica occupa uno spazio grande più che due volte la lunghezza della immagine luminosa.

Il punto della massima energia chimica varia tanto per le differenti preparazioni che per la scala d'azione. Nel maggior numero dei casi il punto della assenza la più profonda giace circa l'orlo più basso dei raggi dell'indaco, sebbene neppure in due casi egli sia esattamente lo stesso, e in molte sostanze è completamente diverso. Sulla carta preparata col sugo della Mattiola annua vi sono due massimi, uno nel mezzo del giallo ed uno più debole nel violetto; e su d'una preparazione di tartarato d'argento Herschel trovavane tre, uno nel bleu meno refrangibile, uno nell'indaco ed un terzo al di là del violetto visibile. Il decrescimento nell'energia fotografica è di rado perfettamente simile in ambedue i lati del *maximum*. Così alla estremità più refrangibile dello spettro solare il potere massimo chimico è esercitato in molti casi dove è il minimo di luce e di calore, ed an-

che nello spazio dove ambedue, luce e calore, cessano sensibilmente.

Non solo la intensità ma la specie d'azione è differente nei differenti punti dello spettro solare come apparisce evidentemente dai vari colori che sono spesso impressi sulla stessa superficie analizzante; avendo ogni raggio una tendenza a impartire il suo proprio colore. Herschel otteneva un' immagine colorata dello spettro solare sopra la carta preparata secondo il principio di Talbot da un raggio solare refratto da un prisma di vetro e quindi altamente condensato per mezzo d' una lente. L' immagine fotografica era rapidamente formata ed intensissima, e quando era tratta fuori dallo spettro e veduta alla luce comune del giorno fu ritrovata essere colorita di tinte cupe ma non equivoche, imitanti i colori prismatici che variavano gradatamente dal rosso pel verde ed il bleu ad un nero purpureo. Lavata la superficie nell'acqua le tinte divennero più decise essendo tenute pochi giorni nell' oscurità; fenomeno, osserva Herschel, che accade costantemente, qualunque sia la preparazione della carta, purchè i colori siano prodotti. Egli pure otteneva un' immagine colorata sul nitrato d' argento; la parte sotto i raggi azzurri divenendo un azzurro scuro, mentre quella sotto il violetto aveva un' ombra che tirava al color di garofano, e qualche volta appariva verde al punto corrispondente all' azzurro meno refrangibile. Hunt trovò sopra una carta preparata col fluoruro d' argento che una linea gialla era impressa nello spazio occupato dai raggi gialli; una fascia verde nello spazio sotto i raggi verdi, un intenso azzurro nello spazio sul quale i raggi bleu ed indaco cadono e sotto i raggi violetti appariva un rossastro scuro: questi colori restavano chiari e distinti dopo essere stati conservati due mesi.

Nonostante la grande varietà nella scala d' azione dello spettro solare, il principio oscuratore o disossidante che prevale nella parte più refrangibile, raramente sor-

passa od anche arriva al raggio giallo mediano che è il punto della massima illuminazione: egli è generalmente tronco d'improviso a quel punto che sembra formare un limite tra i poteri opposti che prevalgono alle due estremità dello spettro. L'effetto, che chiarisce od ossida, dei raggi rossi sull' annerito muriato d' argento scoperto da Ritter di Jena e il ristabilimento per mezzo degli stessi raggi della resina di guaiaco discolorata dalla sua originale tinta da Wollaston, sono già stati menzionati come quelli che danno le prime indicazioni di questa differenza nel modo d' agire dei raggi chimici alle due estremità dello spettro visibile, ora posto fuori d' ogni dubbio.

L' azione esercitata dai raggi meno refrangibili al di là ed alla estremità rossa dello spettro solare, nella maggior parte dei casi invece di annerire i sali metallici li difende dall' azione della luce diffusa del giorno: ma se la superficie preparata è già stata annerita coll' esporla al sole, essi posseggono la notevole proprietà di chiarirla in alcuni casi, ed in altre circostaze di cangiare la superficie nera in un rosso di fuoco.

John Herschel, al quale dobbiamo la più gran parte delle nostre cognizioni sulle proprietà dello spettro chimico, preparava un foglio di carta, lavandolo col muriato d' ammoniaca e quindi con due spalmature di nitrato d' argento; sopra questa superficie egli otteneva un' impressione dello spettro solare che presentava una serie di colori che corrispondono assai da vicino alle sue tinte naturali. Se non che un fenomeno notabilissimo avveniva all' estremità della minima refrangibilità: i raggi rossi esercitavano un' influenza protettrice che preservava la carta dal cangiamento a cui altrimenti andrebbe soggetta per l' influenza disossidante della luce dispersa che sempre circonda lo spettro solare, e questa manteneva la sua bianchezza. J. Herschel s' incontrò in un altro caso su della carta preparata con bromuro

d' argento, sul quale l' intero spazio occupato dallo spettro visibile era oscurato all' estremissima parte dei raggi rossi, ma un' azione ossidante cominciava al di là dell' ultimo rosso, la quale conservava la bianchezza della carta a una notevole distanza al di là dell' ultimo limite tracciabile dei raggi visibili; così dimostrando decisivamente l' esistenza di qualche potere chimico sopra uno spazio considerevole al di là dell' estremità la meno refrangibile dello spettro. Ma Hunt ritrovava ancora che sulla lastra dagherreotipa una potente influenza protettrice è esercitata dagli estremi raggi rossi. In questi casi i raggi rossi e quegli oscuri al di là di essi esercitano un' azione di natura opposta a quella de' raggi violetti.

La parte meno refrangibile dello spettro solare possiede ancora in certe circostanze una proprietà rischiaratrice, per la quale dopo essere stati anneriti coll' esposizione alla luce comune del giorno e ai raggi i più refrangibili dello spettro solare, i sali metallici sono ristabiliti nella loro originale bianchezza. La carta preparata coll' ioduro d' argento, quando vien lavata col ferrocianato di potassa, annerisce rapidamente esposta che sia allo spettro solare. Comincia questo nei raggi violetti e si estende sopra tutto lo spazio occupato dai raggi chimici oscuri e sopra tutto lo spettro visibile fino agli estremi raggi rossi. Questa immagine è colorata, dando i raggi rossi una tinta rossiccia e gli azzurri una turchiniccia. In breve tempo un processo rischiaratore comincia sotto i raggi rossi ed estendesi fino al verde, ma lo spazio occupato dal rosso estremo è mantenuto perfettamente oscuro. Hunt ritrovava che un simile potere imbiancatore è esercitato dai raggi rossi sopra la carta preparata col protocianuro di potassio e d' oro con una lavatura di nitrato d' argento.

L' applicazione di un ioduro di potassio moderatamente forte sulla carta fotografica già oscurata, la rende peculiarmente suscettibile di essere imbianchita per ulteriore esposizione alla luce. Se la carta preparata col

bromuro d' argento viene lavata col ferrocianato di potassa, mentre è sotto l'influenza dello spettro solare, essa è immediatamente oscurata nella parte esposta ai raggi visibili fino all' estremità del rosso, essendo percettibile qualche lieve interferenza vicino la regione dell' arancio e del giallo. Dopo questo un'azione bianchitrice comincia sopra la parte occupata dai raggi rossi che si estende fino al verde. Per un' esposizione più lunga, una macchia ovale comincia di nuovo ad oscurarsi intorno il centro dello spazio rischiarato; ma se la carta riceve un' altra lavata d' idriodato di potassa, l' azione bianchitrice si estende dal verde sopra la regione occupata dai raggi i più refrangibili e considerabilmente al di là di loro, inducendo in tal modo un' azione negativa nella parte più refrangibile dello spettro.

In certe circostanze i raggi rossi, invece di ristabilire una carta fotografica oscurata, nella sua originale bianchezza, producono un colore rosso cupo. Quando J. Herschel riceveva lo spettro sopra una carta un poco discolorata per l' esposizione alla luce diretta del sole, invece di imbiancarsi veniva formato un lembo rosso che si estendeva dallo spazio occupato dall' arancio e quasi copriva quello sul quale il rosso cadeva. Quando invece di esporre la carta, come nella prima prova, alla luce diretta del sole, era annerita dai raggi violetti d' uno spettro prismatico o da un raggio solare ch' era stato sottomesso all' azione assorbente d' una soluzione di solfato ammoniacale di rame, i raggi rossi dello spettro condensato producevano su di essa, non bianchezza, ma un rosso cupo e di fuoco che occupava l' intero spazio sul quale alcuni dei raggi visibili rossi erano caduti, e questo rosso rimaneva immutato, quantunque lungamente restasse la carta esposta ai raggi i meno refrangibili.

La luce del sole trasmessa attraverso i vetri rossi produce l' effetto stesso che i raggi rossi dello spettro nell' esperimento antecedente. J. Herschel poneva un'incisione

sopra una carta annerita per l'esposizione alla luce del sole, coprendo il tutto con un grosso vetro rosso-scuro, precedentemente sperimentato atto ad assorbire ogni raggio al di là dell'arancio; in questo modo una copia fotografica si ottenne nella quale le ombre erano nere come nell'incisione originale: ma i chiari invece di esser bianchi erano del color rosso del sangue venoso, e non si potè ottenere nessun altro colore esponendola alla luce, sebbene a lungo. Herschel si assicurava che ogni parte dello spettro impressa dai raggi i più refrangibili è egualmente arrossata, o quasi così, per l'azione susseguente dei meno refrangibili: in questa maniera i raggi rossi hanno la rimarchevolissima proprietà d'assimilare al loro proprio colore lo scuro già impresso sulla carta fotografica.

Che vi sia una proprietà disossidante ne' raggi più refrangibili ed un'azione ossidante nella parte meno refrangibile dello spettro, è manifesto dall'annerire dell'una e dall'imbianchire dell'altra. Ma l'azione peculiare dei raggi rossi negli esperimenti menzionati dimostra che qualch'altro principio esiste differente dalla contrarietà d'azione. Queste opposte qualità sono bilanciate o neutralizzate nella regione del raggio giallo mediano. Ma sebbene questo sia il carattere generale dello spettro fotografico, in certe circostanze anche i raggi rossi hanno un potere disossidante, mentre gli azzurri ed i violetti esercitano un'influenza contraria: queste però sono rare eccezioni.

L'azione fotografica delle due porzioni dello spettro solare essendo tanto differente, Herschel esperimentò l'effetto della loro azione unita sovrapponendo la parte meno refrangibile dello spettro sopra la più refrangibile per mezzo di due prismi, e così discoperse che due raggi di refrangibilità differente, e per questo di differenti lunghezze d'ondulazione, agendo simultaneamente, producono un effetto che separatamente non produrrebbe nessuno dei due.

Alcune circostanze che accadono durante l'analisi dello spettro chimico sembrano indicare un'azione assorbente nell'atmosfera solare. L'immagine dello spettro impresso sopra della carta preparata con nitrato d'argento e sale Rochelle cominciava di mezzo al raggio giallo o pochissimo al di sotto, d'un delicato colore di piombo; e quando l'azione era arrestata, tale era il carattere di tutto lo spettro fotografico. Ma quando la luce dello spettro solare si lasciava continuare la sua azione, vi si osservava che all'improvviso compariva una nuova e molto più intensa impressione di oscurità, confinata in lunghezza ai raggi azzurro e violetto, e ciò che è da notarsi maggiormente, confinata ancora in larghezza al mezzo dell'immagine del sole, non tanto leggiera almeno da non lasciare tracciabile un margine dello spettro color di piombo, non solo attorno la chiara e ben definita convessità dello spettro oscuro interno all'estremità meno refrangibile, ma lateralmente ancora lungo i due orli, e questo margine era il più facile a tracciarsi e meno facile ad essere sbagliato pel suo sensibile contrasto di colore collo spettro interno, essendo il primo di piombo grigio, e l'ultimo un profondissimo bruno vellutato. L'estremità meno refrangibile di questo spettro scuro interno presentava un contorno chiaramente determinato e regolarmente ellittico; il più refrangibile un altro meno deciso. « Può sembrare troppo azzardoso, continua J. Herschel, ricercare la causa di questo singolarissimo fenomeno in una reale differenza tra le azioni chimiche di questi raggi che derivano dalla porzione centrale del disco solare e di quelli che, emanando da' suoi lembi, sono stati assoggettati all'azione assorbente d'una molto maggiore profondità della sua atmosfera, e confesso nondimeno a me stesso di non sapere quasi quale altra causa assegnare. Deve nondimeno bastare l'averne accennata l'idea facendo notare solo che io altra prova ne ho, e sono disposto a crederla

decisiva, dell'esistenza di un' atmosfera solare assorbente che si estende al di là di quella luminosa. » Arago osservava che i raggi del centro del sole hanno un potere fotografico quanto quelli che provengono dall'orlo, e le immagini fotografiche del sole prese sul cristallo da Niepcé sono rosso-sangue, molto più profondo nel centro, ed in un esperimento l'immagine era circondata da un' aureola. Parecchie circostanze concorrono a mostrare che vi sono delle influenze concernenti ancora la trasmissione dell' azione fotografica, che non sono state spiegate, come per esempio, l'influenza che l' ora del giorno esercita sulla rapidità con che le impressioni fotografiche sono fatte, essendo il sole molto meno efficace due ore dopo il meriggio che due ore prima. Vi è pure ragione di sospettare che l' effetto in qualche modo dipenda dalla latitudine, poichè un tempo molto più lungo si richiede ad avere un' immagine sotto il brillante cielo dei tropici, che in Inghilterra; ed è anche probabile che vi sia una differenza nella luce del sole nelle latitudini alte e basse, giacchè un' immagine dello spettro solare ottenuta da Draper su d' una lastra dagherrotipa nella Virginia differriva dall' immagine spettrale ottenuta da Hunt su d' una lastra simile in Inghilterra. Gli spazi inerti scoperti nello spettro fotografico da E. Bequerel simili a quelli dello spettro luminoso, e che coincidono insieme, sono ancora un fenomeno di cui non è stata data alcuna spiegazione. È possibile che i raggi chimici siano assorbiti dall' atmosfera come quelli della luce. Sebbene l' azione chimica si estenda sopra tutto lo spettro luminoso e molto al di là, in gradi di maggiore o minore intensità, essa si ritrova, secondo diligenti investigazioni, non essere affatto continua. Linee inerti numerose la incrociano che coincidono con quelle dell' immagine luminosa per quanto questa si estende: inoltre n'esiste un numero grandissimo nelle porzioni che sono oscure e che ricoprono la parte visibile. Vi sono tre linee extraspettrali al

di là del rosso ed alcuni gruppi fortemente marcati sulla parte oscura al di là del violetto, ma l'intero numero di queste linee inerti, specialmente negli spazi oscuri, è così grande, che è impossibile a numerarle.

Ad onta di questa coincidenza nelle linee inerti dei due spettri, l'energia fotografica è indipendente dalla luce e dal calorico, poichè essa esercita l'influenza massima in quei raggi dove l'una e l'altro sono minimi, ed anche negli spazi, dove sensibilmente non esistono, ma la trasmissione della luce del sole attraverso dei mezzi colorati fa questa indipendenza assolutamente manifesta. Il calore e la luce passano in abbondanza per i vetri gialli o per una soluzione di cromato di potassa, ma la maggior parte de' raggi chimici sono esclusi, e il gas clorico diluito coll'aria comune, sebbene pervio ai principii luminoso e calorifico, ha l'istesso effetto. J. Herschel trovava che un leggero grado di nebbia gialla di Londra aveva un effetto simile a quello dei mezzi giallo-pallido: egli osservava ancora che una debole soluzione d'azolimina nella potassa, che ammette una grande quantità di luce verde, esclude l'azione chimica; ed alcuni anni fa, l'Autrice mentre faceva esperimenti sulla trasmissione dei raggi chimici, osservava che il vetro verde colorato coll'ossido di rame della grossezza di circa la 20ma parte d'un pollice, esclude i raggi fotografici; e come il Melloni ha dimostrato quella sostanza essere impervia ai raggi calorifici i più refrangibili, essa ha la proprietà d'escludere tutta la parte più refrangibile dallo spettro solare visibile ed invisibile. La mica verde, se non è troppo sottile, ha pure lo stesso effetto, mentre l'ametista, i vetri profondamente colorati in azzurro e violetto, sebbene trasmettano pochissima luce, lasciano passare liberamente i raggi chimici. Così la luce e l'energia fotografica possono essere riguardate come proprietà del raggio solare distinte ed indipendenti, ed ambedue essendo propagate per vibrazioni del mezzo etereo, esse sono puramente dei

movimenti. Un'eccellente immagine della luna è stata ottenuta dal Padre Secchi di Roma; la luce di candela è quasi mancante di raggi chimici. Quanto essi possono influire sulla cristallizzazione e sugli altri ordinamenti molecolari è ignoto: se non che il loro potere è universale dovunque cade il raggio solare, sebbene l'effetto loro solo si manifesti nei casi di equilibrio molecolare instabile.

Non è solo per mezzo della vista che si ottiene conoscenza dei raggi solari. Il fatto prova che essi hanno il potere d'innalzare la temperatura delle sostanze esposte alla loro azione. W. Herschel scoperse che i raggi di calorico che producono la sensazione del calore esistono nello spettro solare indipendentemente da quelli della luce: quando egli usava un prisma di cristallo di rocca ritrovava i raggi calorifici più abbondanti nello spazio oscuro un poco al di là dell'estremità rossa dello spettro; quindi essi decrescono verso il violetto, al di là del quale sono insensibili. Si può concludere per questo che i raggi calorifici variano in refrangibilità, e che quelli, oltre l'estremità rossa, sono meno refrangibili che qualunque raggio luminoso. Dopo il tempo di W. Herschel è stato scoperto che lo spettro calorifico eccede il luminoso in lunghezza nella ragione di 42 a 25: ma il fenomeno più singolare dello spettro calorifico è la sua mancanza di continuità.

J. Herschel anneriva la faccia inferiore d'un foglio di finissima carta bianca per mezzo del fumo d'una lampada, ed avendo esposto la faccia bianca allo spettro solare, le passò sopra una spazzola impregnata di spirito di vino, per il che la carta prese una tinta nera quando fu abbastanza satura. Il calore nello spettro fece svaporare lo spirito da prima su quelle parti della carta dove esso era caduto con maggiore intensità, ristabilendovi perciò il loro colore bianco, e così scoperse che il calorico cresce uniformemente e a gradi attraverso lo spettro luminoso, e che arriva ad un massimo e forma

una macchia ad una considerevole distanza al di là dell' estremo rosso. Esso allora decresce, ma di nuovo crescendo forma una seconda macchia massima, dopo la quale cessa del tutto, per un breve spazio; ma di nuovo si rinnova e forma due macchie più isolate, ed anche una quinta può essere tracciata ad una piccola distanza dall' ultima. Queste circostanze sono dovute probabilmente all' azione assorbente delle atmosfere del sole e della terra. L'effetto della prima, dice J. Herschel, è fuori d' ogni controllo, a meno che noi potessimo portare i nostri esperimenti a tale punto di finezza da operare separatamente sui raggi che emanano dal centro e dai margini del disco solare: quello dell' atmosfera terrestre, sebbene non possa essere eliminato niente di più che nel caso di quella del sole, può pure essere variata ad una notevole estensione cogli esperimenti fatti a grandi altezze sotto a un sole verticale, e paragonati cogli altri dove il sole è più obliquo, la situazione più bassa e la pressione atmosferica d' un aumento temporariamente alto. Se si ritrovasse che questa causa ha in realtà parte nella produzione delle macchie, noi avremmo ragione di credere che una grande porzione del calore solare non arriva mai alla superficie terrestre, e che quello che cade sulle sommità delle alte montagne differisce non solo nella quantità, ma nella qualità ancora da quello che ricevono le pianure.

Una notevole proprietà fosforescente fu scoperta da E. Bequerel nello spettro solare. Due fasce luminose separate da una nera compariscono per mezzo dello spettro solare sopra una carta preparata con una soluzione di gomma arabica, e cospersa di spolverizzato solfuro di calcio, o fosforo di Canton. Una delle striscie luminose occupa lo spazio sotto i raggi violetti meno refrangibili, e l' altra quello al di là dei raggi di lavanda, cosicchè la fascia nera giace sotto l' estremo violetto e i raggi di lavanda. Quando l' azione della luce è continuata, tutta

la superficie al di là del violetto meno refrangibile risplende, colle luminose fascie già nominate le più brillanti; ma tutto lo spazio dal violetto meno refrangibile all' estremo rosso rimane oscuro. Se la superficie preparata o col solfuro di calcio o colla pietra di Bologna sia esposta alla luce del sole per poco tempo, diventa luminosa interamente; ma quando in questo stato uno spettro solare vi si fa cader sopra, tutto rimane luminoso eccetto la parte del violetto meno refrangibile fino al rosso estremo, nel quale spazio la luce è estinta; e quando la temperatura della superficie è innalzata da una lampada, le parti brillanti diventano più luminose, e le oscure rimangono tali. Un cristallo sporcato di protossido di rame, che solamente trasmette i raggi rossi e aranci ha l' istesso effetto sopra la parte meno refrangibile dello spettro: quindi non vi può esser dubbio che i raggi più refrangibili ed oscuri dello spettro eccitano fosforescenza, mentre tutti i raggi meno refrangibili di luce e di calore la estinguono.

La carta preparata col solfuro di bario, quando sia posta sotto lo spettro solare, mostra solo uno spazio di massima intensità luminosa, e i raggi distruggitori son gli stessi, come nel solfuro di calcio. Così i raggi oscuri al di là dell' estremo violetto producono luce, mentre i raggi luminosi la estinguono.

Lo spettro fosforico possiede delle linee inerti le quali coincidono con quelle degli spettri luminosi e chimici, almeno per quanto questo s' estende: ma perchè lo spettro sia veduto, deve essere ricevuto per pochi secondi sopra una superficie preparata a traverso un' apertura in una camera oscura; quindi si chiude l' apertura, ed innalzata la temperatura della superficie due o tre gradi centesimali, le parti fosforescenti risplendono allora brillantemente e le linee oscure compariscono nere. Poichè le parti di refrangibilità simile in differenti spettri sono traversate dalle stesse linee oscure, i raggi della

stessa refrangibilità sono probabilmente assorbiti al tempo stesso dai differenti mezzi, traverso i quali essi passano.

Si vede dall' esperienze di Becquerel e Biot, che le perturbazioni elettriche producono questi effetti fosforescenti. Vi è così una misteriosa connessione tra i raggi più refrangibili e l' elettricità, confermata dalle esperienze di E. Becquerel, dimostrandosi che la elettricità è sviluppata durante l' azione chimica dai raggi violetti, che essa è debolmente sviluppata dal bleu e indaco, e che nessuna è eccitata dalla parte meno refrangibile dello spettro.

Una serie di esperimenti di J. Herschel hanno scoperta una nuova classe di raggi oscuri nello spettro solare che sembrano avere la stessa relazione con quelli del calorico, come i fotografici e chimici hanno coi luminosi. Questi raggi sono situati in quella parte dello spettro ch' è occupata dai colori visibili meno refrangibili, e sono stati nominati dal loro scopritore raggi Paratermici. Si deve avere ricordanza che la regione del massimo calore nello spettro solare giace nello spazio oscuro al di là del rosso visibile. Ora Herschel ritrovava che negli esperimenti con una soluzione di resina guaiaco nella sodà che dà alla carta un color verde, i raggi verde, giallo, arancio e rosso dello spettro invariabilmente toglievano il colore, mentre nessuno effetto si produceva dai raggi di calorico fuori dello spettro che avrebbero dovuto avere il massimo effetto, se il calorico fosse la causa del fenomeno. Quando una soluzione acquosa di cloro veniva aspersa sopra una striscia di carta preparata colla resina guaiaco disciolta nella soda, un colore che varia da un verdiccio scuro ad un azzurro celeste leggero vien dato alla carta; e quando lo spettro solare veniva gittato sopra la carta, mentre è umida, il colore era tolto da tutto lo spazio sotto i raggi luminosi meno refrangibili, al tempo stesso che i raggi termici i più distanti oltre lo spettro facevano evaporare

l' umidità dallo spazio, sul quale cadevano, così che le macchie del calorico si manifestavano. Ma queste scomparivano quando la carta era asciutta, lasciando incangiata la superfice, mentre l' impressione fotografica dentro lo spettro visibile cresceva in intensità, i raggi termici non luminosi, sebbene evidentemente attivi *da riscaldare,* erano pure incapaci di produrre quel cambiamento chimico particolare che gli altri raggi di potere meno riscaldante sempre producevano. J. Herschel essendosi assicurato che un calore artificiale da 180° a 280° Fahrenbreit cangiava la tinta verde della resina guaiaco nel suo colore giallo originale allora ch' era inumidita, ma che ciò non aveva effetto quando era ascintta, esperimentava pertanto se il calore d' un ferro caldo applicato al di dietro della carta usata nell' esperimento ultimamente ricordato, mentre era sotto l' influenza dello spettro solare, non potesse aiutare l' azione de' raggi calorifici: ma invece di far questo, accelerò di molto la discolorazione sopra gli spazi occupati dai raggi meno refrangibili, e non ebbe nessuno effetto sulla regione del massimo calore fuori dello spettro. Il calore terrestre oscuro pertanto è capace di aiutare e d' essere aiutato nel produrre questo peculiare cangiamento per quei raggi dello spettro o luminosi o termici che occupano le sue regioni rossa, gialla e verde; mentre dall' altro canto il detto calore terrestre non riceve una tale assistenza dai raggi puri termici al di là dello spettro, agendo in circostanze simili ed in uno stato eguale di condensazione.

Le conclusioni tratte da questi esperimenti sono confermate da quelli che seguono: una pittura fotografica formata sulla carta preparata con una mistura di soluzione di citrato-ammoniacale di ferro, e di sesquiferrocianato di potassa in parti eguali, quindi messa nell' acqua e poscia asciugata, sarà azzurra e negativa, cioè i chiari e le ombre saranno al rovescio di ciò che sono in natura. Se in questo stato la carta sarà lavata con una

soluzione di proto-nitrato di mercurio, la pittura sarà obliterata, ma se è ben lavata ed asciutta, ed un ferro levigato caldo le passerà sopra, la pittura all' istante ricomparisce non azzurra ma bruna: se la si tiene qualche settimana in questo stato perfettamente all' oscuro tra le carte d' un portafoglio essa si scolora e quasi interamente svanisce, ma una nuova applicazione di calore la restituisce alla sua piena intensità originale. Questo curioso cambiamento non è l' effetto della luce, o almeno della luce sola. Una certa temperatura deve esser raggiunta, e questa basta nella totale oscurità: nondimeno esponendo ad uno spettro concentratissimo una striscia di carta impiegata nell' ultimo esperimento, dopo che l' uniforme color azzurro è stato scolorato e lasciatovi un fondo bianco, questa bianchezza è cangiata in bruno sopra l' intera regione dei raggi rosso e arancio, ma non *al di là* dello spettro luminoso.

J. Herschel quindi conclude: 1° che è il calorico di questi raggi, non già la loro luce che opera il cambiamento; 2° Che questo calorico possiede una peculiare chimica qualità che non è posseduta dai raggi puramente calorifici al di là dello spettro visibile, sebbene molto più intensi; 3° Che il calorico raggiante dal ferro riscaldato fino al color scuro abbonda specialmente in raggi analoghi a quelli della regione dello spettro sopra indicata.

Un altro esempio di queste singolari trasformazioni può esser citato. I disegni formati sulla carta cianotipa resa più sensibile per l' aggiunta del sublimato corrosivo sono azzurri sopra un fondo bianco e positivo; cioè i chiari e le ombre sono le stesse che in natura, ma per l' applicazione del calore, si muta da azzurro in bruno il colore, da positivo in negativo il disegno: se non che tenendolo all' oscurità il color blu è ristabilito egualmente che il *carattere positivo*. J. Herschel l'attribuisce, come nel primo caso, a certi raggi che riguardati come raggi di calore o di luce o di qualche influenza *sui generis* accom-

pagnando i raggi rossi e aranci dello spettro, sono ancora copiosamente emessi da corpi riscaldati vicino al color rosso. Egli pensa sia probabile che questi raggi invisibili paratermici sieno raggi che irraggiano da molecola a molecola nell'interno dei corpi, che determinano la decolorazione dei colori vegetali alla temperatura dell'ebullizione, ed ancora le trasformazioni senza numero atomiche dei corpi organici, le quali hanno luogo alla temperatura sotto la rossezza; che gli stessi raggi sono distinti da quelli del puro calorico; e che sono abbastanza identificati da questi caratteri per diventare oggetti legittimi di scientifica discussione.

I raggi calorifici e paratermici appariscono essere intimamente connessi con le scoperte di Draper e Moser. La scoperta di Daguerre mostrò che l'azione della luce sull'ioduro d'argento lo rende capace di condensare il vapore del mercurio che aderisce alle parti impressionate da esso. Il prof. Moser di Könisberga ha provato che l'istesso effetto è prodotto dal contatto semplice dei corpi ed anche per la loro vicinissima sovrapposizione, e questo nella totale oscurità egualmente che nella luce. Questa scoperta fu da lui annunciata con queste parole: « Se una superficie è stata tocca, in qualche punto particolare, da qualche corpo, la medesima acquista la proprietà di precipitare tutti i vapori, e questi aderiscono o si combinano chimicamente con la superficie stessa su quelle parti differentemente da quello che i vapori fanno sulle parti non tocche. » Se noi scriviamo sopra una lastra di vetro o su altra superficie liscia qualunque e quindi con carta sugante o qualche altra cosa la puliamo, i caratteri ricompariscono sempre, qualora si aliti sopra la piastra o la superficie, e l'effetto istesso sarà prodotto anche sulla superficie del mercurio: nè il contatto assoluto è di necessità. Se un setaccio grossolano tagliato in un modello, sia tenuto sopra una superficie metallica levigata a pic-

cola distanza, e sopra vi si aliti, dopo che il vapore sarà svaporato in modo che nessuna traccia siavi rimasta sulla superficie, il modello ricomparisce quando si aliti di nuovo sopra la superficie.

Moser provò che i corpi esercitano una decisa influenza l' uno sull' altro, mettendo monete, pietre incise, pezzi di corno e d'altre sostanze per breve tempo sopra una lastra metallica riscaldata: quando la sostanza veniva tolta via, nessuna impressione appariva sulla lastra sino a che non vi si era soffiato sopra colla bocca od era stata esposta al vapore di mercurio; e allora questi vapori aderivano solo alle parti dove la sostanza era stata collocata, formando immagini distinte che in alcuni casi erano permanenti dopo che il vapore veniva rimosso. Impressioni somiglianti si sono ottenute sul vetro e sopra altre sostanze, anche allora che i corpi non erano in contatto, ed i risultati furono gli stessi, sia che gli esperimenti si facessero nella luce o nell'oscurità.

Il signor Grove ritrovò, che quando due piastre di zinco e di rame erano strettamente vicine, ma non a contatto, ed improvvisamente separate, una era positivamente, l'altra negativamente elettrica; quindi ne inferiva o che il mezzo adoperato era polarizzato o che una irradiazione analoga, se non identica con quella che produce le imagini di Moser, ha luogo da piastra a piastra.

Il signor Hunt dimostrò che molti di questi fenomeni dipendono dalla differenza di temperatura, e che per ottenere buone impressioni debbonsi adoperare metalli differenti: per esempio, monete d'oro, argento, bronzo e rame venivano messe sopra una lastra di rame così calda da non potersi toccare, e lasciate in quiete sino a che la lastra fosse fredda: tutte le monete avevano fatta una impressione, la distinzione e l'intensità della quale erano secondo l' ordine dei nominati metalli. Quando la lastra era esposta al vapore del mercurio, il risultato era lo stesso, ma quando il vapore era asciugato, le

monete d' oro e d' argento solamente avevano lasciato immagini permanenti sul rame. Queste impressioni sono spesso minutamente perfette, se le medaglie sono in contatto reale colla lastra o ad un ottavo di pollice sopra di essa. La massa del metallo ha una influenza materiale sul risultato: una moneta grande di rame fa una migliore impressione sopra una lastra di rame che una piccola moneta d' argento. Quando medaglie di metalli differenti sono situate sulla lastra stessa, interferiscono tra di loro. Quando, invece di essere riscaldata, la lastra di rame è raffreddata con un miscuglio frigorifero, mettendovi sopra cattivi conduttori di calore, come legno, carta, vetro ec., il risultato è simile.

Hunt osservando che una sostanza nera lascia un' impressione più forte sopra una superficie metallica di quello che faccia una sostanza bianca, applicò la proprietà in discorso all' arte della termografia per la quale egli copiava incisioni, intagli in legno, scritture e stampe sopra rame amalgamato sopra una superficie e accuratamente levigato, solo col mettere l' oggetto da copiarsi dolcemente sul metallo e premendolo in stretto contatto con una piastra di vetro: dopo qualche ora la piastra è sottomessa al vapore di mercurio e poscia a quello dell' iodio, ed una nera ed accurata impressione dell' oggetto si manifesta sopra un fondo bigio. Effetti somiglianti a quelli attribuiti al calorico possono essere pure prodotti dall' elettricità. Karsten, mettendo una lastra di vetro sopra una di metallo e sopra la lastra di vetro una medaglia sottoposta a scariche elettriche, ritrovò un' immagine perfetta della medaglia impressa sul vetro, la quale si può rendere manifesta col mercurio o coll' iodio; e quando parecchie lastre di vetro erano interposte tra le medaglie e la lastra metallica, ogni lastra di vetro riceveva un' immagine sopra la sua superficie superiore dopo il passaggio della scarica elettrica. Queste scariche hanno il notevole potere di ristabilire impressioni che da

lungo tempo sono state obliterate dalle piastre col ripulirle; prova che le perturbazioni dalle quali dipendono questi fenomeni, non sono ristrette alla superficie dei metalli, ma che un deciso cambiamento molecolare ha avuto luogo ad una considerevole profondità. Gli esperimenti di Hunt provano che i metalli elettro-negativi fanno immagini più distinte sulle lastre elettro-negative, e viceversa. Matteucci ha dimostrato che una scarica di elettricità non modifica visibilmente una lastra d'argento levigata, ma produce un'alterazione che la rende capace di condensare i vapori.

L'impressione di una incisione fu eseguita mettendola colla faccia all'ingiù sopra d'una lastra d'argento iodizzata, e mettendo una lastra di rame amalgamatizzata sopra la stessa: il tutto fu lasciato nell'oscurità per 15 ore, durante il qual tempo un'impressione dell'incisione erasi fatta sulla piastra amalgamatizzata *attraverso la carta.*

Una piastra d'argento iodiozzata fu messa nell'oscurità con un gomitolo di corda sopra, e con una lastra d'argento pulita, sospesavi sopra alla distanza di $\frac{1}{8}$ di pollice: dopo 4 ore, queste piastre furono esposte ai vapori di mercurio che venne uniformemente depositato sulla lastra iodizzata; ma su quella d'argento vi era un'imagine distinta della corda; così che questa imagine fu formata all'oscuro ed anche senza contatto. Monete od altri oggetti lasciano le loro impressioni nella stessa maniera con perfetta distinzione ed accuratezza, quando sono fatte sortir fuori per mezzo del vapore senza contatto, all'oscuro e su metalli semplici.

I mezzi colorati di rosso e d'arancio, il vetro affumicato e tutti i corpi che trasmettono od assorbiscono i raggi calorifici liberamente, lasciano forti impressioni sopra una piastra di rame, se siano in contatto o ad $\frac{1}{8}$ di pollice sopra la lastra. La prova più forte che il calorico ha parte in alcuni almeno di questi fenomeni è

evidente: per esempio, uno spettro solare concentrato da una lente fu gittato sopra una lastra levigata di rame e tenuta sopra lo stesso luogo per mezzo d' un eliostata per due o tre ore: quando la lastra fu esposta al vapore mercuriale, una pellicola di questo coprivala, dove la luce diffusa, che sempre accompagna lo spettro solare, era caduta. Sullo spazio oscuro occupato dal massimo potere riscaldante di W. Herschel ed anche sul luogo del gran calore nello spettro termico di J. Herschel, la condensazione del mercurio era così grossa, che una macchia bianca distinta soprastava alla lastra, mentre sopra tutto lo spazio che era stato sotto lo spettro visibile la quantità del vapore era molto minore di quella che copriva le altre parti, somministrando una distinta prova d'un effetto negativo nello spettro luminoso e del potere dei raggi calorifici, che non è sempre ristretto alla superficie del metallo; poichè in molti casi le impressioni sono formate a notevole profondità sotto la superficie, e per conseguenza sono permanenti.

Parecchi di questi singolari effetti sembrano esser dovuti all' azione mutua delle molecole in contatto, mentre sono in istato differente o di elettricità o di temperatura; altri chiaramente hanno origine da un' influenza incognita esercitata tra le superfici a una distanza, e che modifica la loro molecolare struttura: probabilmente potrebbero essere i raggi paratermici, i quali hanno una peculiare azione chimica anche nella totale oscurità. Nell' ultimo esperimento l' effetto è certamente prodotto dalla porzione positiva di uno di quei notevoli principii antagonistici che caratterizzano lo spettro solare.

Così si vede che il prisma scompone il puro raggio solare bianco nei tre spettri solari soprapposti l'un l' altro, variando in refrangibilità ed intensità per tutta la loro lunghezza: la parte visibile è sviluppata ad una estremità da' raggi chimici o fotografici, e all'altra dai termici, ma i due ultimi eccedono tanto la parte visibile,

che le dimensioni dei tre — luminoso, termico e fotografico — stanno in proporzione come i numeri 25, 42·10, e 55·10, così che tutto lo spettro solare è due volte così lungo come la parte visibile. Le due estremità esercitano una decisa energia antagonistica. I raggi luminosi meno rifrangibili cancellano l'azione dei raggi fotografici, mentre gli ultimi producono la luce fosforescente, la quale viene estinta dai raggi luminosi i meno refrangibili. Secondo l'esperimento di Hunt i raggi caldi condensano il vapore mercuriale sopra una lastra metallica levigata, mentre i raggi luminosi impediscono la sua formazione. La elettricità è eccitata dai raggi chimici, mentre i paratermici sono ritrovati solo nei raggi meno refrangibili. Ciascuno degli spettri è incrociato da linee colorate e senza splendore particolari a lui stesso, e queste sono attraversate ad angoli retti da innumerevoli linee oscure di varie larghezze, mentre l'insieme forma una creazione indicibilmente maravigliosa e bella.

La disposizione varia un poco secondo la materia del prisma e la maniera di produrre lo spettro, come in quella ottenuta da Draper per la luce difratta. Esso era formato da un raggio difratto che passava per una rete di fine filo metallico o per riflessione d'una superficie levigata d'acciaio, essendovi state tirate delle linee sottili parallele. Questo spettro difratto è diviso in due parti eguali nel centro del giallo, e come nello spettro prismatico una metà è antagonista all'altra metà, l'estremità rossa o negativa disfà quello che la positiva o violetta ha fatto. Il centro del giallo è la parte più calda, ed il calore decresce alle due estremità. Una linea di freddo è supposta esistere in questo spettro, corrispondente all'oscura linea H di Fraunhofer.

Le ondulazioni del mezzo etereo che costituiscono un raggio solare, devono essere infinitamente variate, avendo ogni influenza una vibrazione sua propria. Quelle della luce sono certamente trasversali alla direzione del rag-

gio: mentre Draper crede che quelle del calorico siano normali, cioè nella direzione del raggio, come le sonore. Si dubita se le vibrazioni della luce polarizzata siano perpendicolari al piano di polarizzazione o in questo piano. Il prof. Stokes di Cambridge ha concluso, e dallo spettro difratto e dalla teoria, ch' esse sono perpendicolari al piano di polarizzazione, se non che Holtzmann pensa che esse siano in questo piano: dimodochè il soggetto è sempre sottoposto alla discussione.

SEZIONE XXV.

Grandezza e costituzione del sole — Macchie solari — Intensità della luce solare e del calore — Atmosfera del sole — Influenza di esso sui pianeti — Atmosfera dei pianeti — La luna non l'ha — Calore lunare — Telescopi differenziali — Temperature dello spazio — Calore interno della terra — Zone di costante temperatura — Aumento del calore con la profondità — Calore centrale — Azione vulcanica — Quantità di calore ricevuta dal sole — Linee isogeotermiche — Linea di congelazione perpetua — Climi — Linee isotermiche — La stessa quantità di calore nell' anno ricevuta e irradiata dalla terra.

Il sole è un globo di 800,000 miglia di diametro: è impossibile dire che cosa sia il suo corpo, ma pare una massa oscura circondata da un' atmosfera estesa ad una certa altezza, nella quale vi è uno strato di nubi luminose che formano la fotosfera del sole. Sopra questa alzasi la vera atmosfera solare, visibile come una aureola, o corona, al tempo dell'eclissi anulari e totali, e probabilmente la causa dei fenomeni peculiari dell' imagine fotografica del sole già ricordati. Attraverso le aperture occasionali della fotosfera, od oceano chiazzato di fiamme, comparisce il nucleo oscuro in forma di macchie nere, spesso di enorme grandezza. Queste macchie sono quasi sempre comprese dentro una zona della superficie solare, la cui larghezza misurata su d' un meridiano solare non

si estende al di là dei 30° ½ da ogni lato del suo equatore, benchè esse sieno state vedute ad una distanza di 39° ½. La parte centrale oscura delle macchie è circondata da una successione di inviluppi oscuri nebulosi, crescenti in lucentezza per una penombra; alcune volte vi sono tre o più ombre, ma si richiede un buon telescopio per vedere le intermedie. Le macchie gradatamente crescono in grandezza e numero di anno in anno fino ad un massimo, e allora gradatamente decrescono ad un minimo, compiendo regolari vicissitudini in periodi di circa 11 anni, e sono segnatamente connesse coi cicli del magnetismo terrestre. Dai loro estesi e rapidi cangiamenti vi è ogni ragione di credere che la parte esterna ed incandescente del sole sia gassosa.

Si dubita sull' uniformità della quantità di calore emesso dal sole. W. Herschel fu il primo a sospettare, che esso fosse modificato dalla quantità e grandezza delle macchie della sua superficie: il P. Secchi ha osservato che le macchie sono meno calde che le parti luminose, ed ora Wolf ha trovato che l' ammontare del calore emesso dal sole varia periodicamente con le macchie ogni 11·11 anni, e approssimativamente 9 volte in un secolo, cominciando al principio del presente. Egli ha scoperto un sotto-periodo in quello delle macchie, il quale certo ha un' influenza sulla quantità del calore solare. Così le innumerevoli vicissitudini nella temperatura di anni differenti può in ultimo ritrovarsi dipendere dalla costituzione del sole stesso.

La intensità della luce del sole diminuisce dal centro alla circonferenza del disco solare. La sua luce diretta è stata stimata uguale a quella di 5,563 candele di cera di media grandezza, situate alla distanza d' un piede da un oggetto: quella della luna è probabilmente solo eguale alla luce d' una candela alla distanza di 12 piedi: per conseguenza la luce del sole è più che trecentomila volte maggiore di quella della luna. Secondo gli esperi-

menti del Padre Secchi di Roma il calore dell' immagine solare è quasi due volte più grande al centro di esso che all' orlo. Il massimo calore non è al centro ma all' equatore solare e le macchie sono meno calde che il resto della superficie.

Gli oceani di luce e di calore che probabilmente derivano da processi elettrici e chimici di immensa energia, che continuamente hanno luogo alla superficie solare (N. (217) sono trasmessi in ondulazioni per il mezzo etereo in ogni direzione; ma nondimeno la grandezza del sole e l' inconcepibile intensità della luce e del calorico che deve esistere alla sua superficie, come l' intensità di ambedue, diminuisce come il quadrato della distanza cresce, la sua benefica influenza potendo appena essere sentita ai confini del nostro sistema. In Urano il sole dev' essere veduto come una piccola stella brillante, non più brillante dalla 150ª parte di quello che apparisce a noi, ma 2,000 volte più brillante che la nostra luna. Cosicchè esso è realmente un sole per Urano, e può impartire qualche grado di calore. Ma se consideriamo che l' acqua non rimarrebbe fluida in nessuna parte di Marte, neppure all' equatore, e che nelle zone temperate dello stesso pianeta l' alcòol e ancora il mercurio gelerebbero, possiamo formarci qualche idea del freddo che deve regnare in Urano e in Nettuno. Il clima di Venere assomiglia più da vicino a quello della terra, sebbene, eccettuato i suoi poli, vi debba essere molto più caldo per la vita animale e vegetale, di quello che qui esista, perchè essa riceve sette volte più luce e calore che la terra, ma in Mercurio il calor medio per la intensità dei raggi solari deve essere sopra quello del mercurio bollente e l' acqua bollirebbe anche ai suoi poli. Così i pianeti, sebbene affini alla terra pel moto e per la forma, sono secondo le nostre esperienze totalmente inadatti per l' abitazione di esseri come l' uomo, a meno che la loro temperatura in fatto non fosse modificata da circostanze delle quali noi siamo all' oscuro, e che possono crescere

o diminuire il calore sensibile in modo da renderli abitabili. Nella nostra totale ignoranza si può osservare, che la terra se da Nettuno è visibile, non può apparire che un minuto oggetto telescopico; che dalla stella fissa più vicina, il sole deve decrescere ad un puro punto luminoso; che tutto il sistema solare vi sarebbe nascosto da un filo di ragno, e che lo stesso stellato firmamento è solo la prima serie di stellati sistemi, il numero dei quali è limitato soltanto dalla imperfezione dei nostri strumenti che s' adoperano a penetrare lo spazio. In questa trascendentale maestà del creato, sembra inconsiderato l' affermare che sola la terra sia abitata da esseri intelligenti, e così limitare l' Onnipotente, il quale nulla ha fatto invano.

Parecchi pianeti hanno estese e dense atmosfere: secondo Schroëter, l'atmosfera di Cerere è alta più che 668 miglia; quella di Palladé ha un' elevazione di 465 miglia, ma nessuna traccia di atmosfera può essere vista attorno Vesta. L' attrazione della terra ha probabilmente spogliata la luna della sua, perocchè il poter refrattivo dell' aria alla superficie della terra è almeno un mille volte così grande come alla superficie della luna: l' atmosfera lunare deve per questo essere d'un grado maggiore di rarefazione, di quella che può esser prodotta dalle nostre macchine pneumatiche. Questo è confermato dalle osservazioni di Arago durante un' eclisse solare, quando nessuna traccia di atmosfera lunare può esser veduta. Dopo d' allora, nondimeno, qualche indicazione di aria è stata osservata nelle valli della luna. Prendendo le immagini fotografiche della Luna e di Giove a Roma, il Padre Secchi ritrovava che la luce della luna piena è a quella dei quarti come 3 ad 1. Giove dà un' immagine fotografica così brillante e vivace, come la parte la più brillante della luna; se non che, sebbene la luce di Giove sia minore della lunare, esso è quasi cinque volte più lontano dal sole, e siccome la luce diminuisce come il qua-

drato della distanza cresce, la luce di Giove è proporzionatamente maggiore di quella della luna; conseguentemente l' atmosfera di Giove riflette più luce che l' oscuro suolo vulcanico della luna, e così il Padre Secchi osserva che la fotografia può ad una volta rivelare la qualità dei materiali, dei quali sono formati i corpi celesti.

L' effetto dell' atmosfera terrestre sopra il calore lunare è notevole. Forbes provava che la luce diretta della luna piena è incapace di innalzare un termometro per la 3,000^{ma} parte d' un grado centigrado, almeno in Inghilterra; ma ad una altezza di 8,870 piedi sul Picco di Teneriffa, Piazzi Smyth trovava un sensibilissimo calore proveniente dalla luna, sebbene essa fosse allora a 19° al sud dell' equatore; così, non v' è dubbio, esso è assorbito dalla nostra atmosfera a livelli più bassi.

Alcuni importantissimi esperimenti si possono fare per mezzo d' un telescopio che ha un prisma attaccato alla sua estremità oggettiva, e fornito di un micrometro; conciossiachè per esso può essere determinata la differenza dell' illuminazione degli oggetti con grandissima accuratezza, come, per esempio, la comparativa intensità tra le parti brillanti e oscure della luna; la comparativa intensità della luce solare riflessa dalla luna, e la luce cenerina, o la luce della terra riflessa sulla luna; e quindi un paragone può farsi tra la luce del sole e quella della terra. Quindi ancora può conoscersi se gli emisferi terrestri successivamente visibili dalla luna sono più o meno luminosi, secondo che essi contengono più terra o più acqua, e al tempo stesso può essere probabile che si apprezzi lo stato più o meno nuvoloso o chiaro della nostra atmosfera, così che col tempo noi potremmo finalmente ritrovare nella luce cenerina della luna dei dati sopra la media diafanità dei differenti emisferi terrestri, i quali sono di differenti temperature.

Si è ritrovato colla esperienza che il calore è svilup-

pato in sostanze opache e trasparenti pel loro assorbimento della luce solare, ma che i raggi del sole non alterano sensibilmente la temperatura dei corpi perfettamente trasparenti, a traverso i quali essi passano. Siccome la temperatura dello spazio trasparente planetario non può che poco essere modificato dal passaggio della luce e del calorico solari, non può mai essere sensibilmente innalzata dal calorico adesso irradiato dalla terra.

Certo l'irraggiamento di tutti i corpi dell'universo mantiene il mezzo etereo ad una temperatura più alta che esso non avrebbe altrimenti, e deve eventualmente accrescerla, ma d'una quantità così tenue, che appena è possibile concepire un tempo in cui un cangiamento diventi percettibile.

La temperatura dello spazio essendo così bassa come — 239° Fahrenheit, egli è argomento di non piccola importanza l'accertare se la terra potesse in ultimo essere ridotta dall'irraggiamento alla temperatura del mezzo che la circonda; quali siano le sorgenti del calorico; se esse siano sufficienti a compensare la perdita e a mantenere la terra in uno stato idoneo al sostegno della vita animale e vegetale nel tempo avvenire. Tutte le osservazioni che sono state fatte sotto la superficie del suolo concorrono a provare che vi è uno strato alla profondità di 40 a 100 piedi nell'interno della terra, dove la temperatura è invariabile in tutti i tempi e in tutte le stagioni, e che non differisce se non di poco dalla media temperatura annua del paese al di sopra. Secondo Boussingault, quello strato all'equatore è alla profondità di poco più che un piede nei luoghi difesi dai raggi diretti del sole, ma nei climi nostri è ad una distanza molto maggiore. Nel corso di più di un mezzo secolo la temperatura della terra alla profondità di 90 piedi nelle cave dell'Osservatorio di Parigi non è mai stata sopra o sotto di 53° Fahrenheit; il

che è solo 2° sopra la temperatura media annua di Parigi. Questa zona, non affetta dai raggi solari al di sopra o dal calore interno al disotto, serve come di punto di partenza, dal quale gli effetti del calore esterno sono apprezzati da un canto e le temperature interne del globo dall' altro.

Sino dal 1740 il signor Gensanne scoperse nelle miniere di piombo di Giromagny, nelle montagne dei Vosgi, tre leghe da Béfort, che il calore del suolo cresce con la profondità sotto la zona della costante temperatura. Un numero immenso di osservazioni è stato fatto dopo quel tempo nelle miniere d' Europa e d' America da Saussure, Daubuisson, Humboldt, Cordier, Fox, Reich ed altri, che convengono senza eccezione a provare che la temperatura della terra diventa più alta discendendo verso il suo centro. La massima profondità, a cui siasi arrivato, è la miniera d' argento di Guanaxato nel Messico, dove Humboldt ritrovava una temperatura di 98° alla profondità di 285 tese, essendo la temperatura annua media del paese solo di 61°. Dopo di questa è la miniera di rame di Dalcoath nella Cornovaglia, dove il termometro di Fox marcava 68° in un foro nella roccia alla profondità di 230 tese, ed 82° nell' acqua alla profondità di 240 tese; l' annua temperatura media essendo alla superficie circa 50°. Ma non vi è bisogno di moltiplicare gli esempi, chè tutti concorrono nel mostrare che vi è una grande differenza tra la temperatura dell' interno della terra ed alla sua superficie. Le osservazioni di Fox sulla temperatura delle sorgenti che scaturiscono a grandi profondità nelle miniere ne somministrano la più forte testimonianza. Esso ritrovava correnti considerevoli che scorrevano dentro alcune delle miniere del Cornish alla temperatura di 80° o 90°, la quale era circa 30° o 40° al di sopra di quella della superficie, ed accertavasi ancôra che quasi 2,000,000 galloni d' acqua erano giornalmente estratti colle trombe dal seno delle miniere di Poldice che sta-

vano alla profondità di 176 tese a 90 o 100 gradi. Siccome questa temperatura è più alta che il calore del corpo umano, Fox giustamente osserva che questo è una prova di più che la temperatura accresciuta non può derivare dalle persone de' lavoratori impiegati nelle miniere. Nè il calore delle miniere può essere attribuito alla condensazione delle correnti d'aria che le ventilano. Fox, la cui opinione in questa materia è di grande autorità, stabilisce che ancora nelle miniere le più profonde la condensazione dell' aria non alzerebbe la temperatura più di 5° o 6°, e che se il calore potesse essere attribuito a questa causa, le stagioni sensibilmente influirebbero sulla temperatura delle miniere: ciò che si vede non fanno, dove la profondità è grande. Inoltre le miniere di Cornish sono generalmente ventilate da numerosi condotti che si aprono nelle gallerie, i quali vengono dalla superficie o da un più alto livello. L' aria circola liberamente in esse discendendo in alcuni condotti ed ascendendo in altri. In tutti i casi Fox ritrovava che le correnti che discendevano erano di temperatura più bassa di quelle che ascendevano, tanto che nell' inverno l' umidità spesso congelavasi nelle prime a considerevole profondità: la circolazione dell' aria dunque tende a raffreddare le miniere invece di accrescere il loro calore. Fox ha pure rimosso le obbiezioni derivanti dalla temperatura dell' acqua comparativamente bassa nei condotti delle miniere abbandonate, mostrando che le osservazioni fatte in varie circostanze ch' egli enumera, sono troppo discordanti per fornire una conclusione per l' attuale calore della terra. Se l' alta temperatura delle miniere potesse attribuirsi agli effetti dei fuochi, delle candele e della polvere da schioppo usati dai minatori, un tale accrescimento non si otterrebbe nei pozzi profondi e nei fori a grande profondità nella ricerca delle acque dove non hanno luogo questi mezzi. In un pozzo scavato colla mira di scoprire del sale nel Cantone di Berna e da lungo tempo abban-

donato, De Saussure, ebbe la più completa prova dell' aumento di calore. Lo stesso è stato confermato dalla temperatura di molti pozzi in Inghilterra ed in Francia, specialmente nei pozzi Artesiani, così detti da un metodo particolare di fare alzare le acque, praticati nell' Artois, e quindi diventati generalissimi. Un pozzo Artesiano consiste in un condotto di pochi pollici di diametro forato nella terra fino a che si è ritrovata una sorgente. Per impedire che l' acqua sia portata via dagli strati adiacenti vi è messo giù un tubo che perfettamente riempie il foro dalla cima al fondo, nel qual tubo l' acqua s' innalza pura alla superficie. È chiaro che l' acqua non s' innalzerebbe, a meno che da prima non fosse discesa da un suolo alto attraverso l'interno della terra fino al fondo del pozzo. L' acqua partecipa della temperatura degli strati pe' quali passa, ed in ogni caso è più calda in ragione della profondità del pozzo, ma è evidente che la legge dell' aumento non può essere ottenuta in questo modo. Forse gli esperimenti ricordati che più soddisfacciano, sono quelli fatti da Augusto de la Rive e F. Marcet nel 1833 in un foro praticato per ottenere l' acqua circa una lega lontano da Ginevra in un luogo 318 piedi soprà il livello del lago. La profondità del foro era di 727 piedi, ed il diametro solo tra 4 e 5 pollici. Non vi fu ritrovata sorgente alcuna, ma il condotto si riempì di fango per la umidità del terreno mescolato colla terra smossa nel fare il foro; il che era peculiarmente favorevole per gli esperimenti, siccome la temperatura ad ogni profondità poteva essere considerata quella dello strato particolare. In questo caso dove nessuna delle cause ordinarie di disturbo poteva esistere, e dove ogni precauzione era usata da osservatori scienziati ed esperti, la temperatura fu ritrovata crescere regolare ed uniforme colla profondità, in ragione di circa 1° Fahrenheit per ogni 52 piedi. Il prof. Reich di Freyberg ha ritrovato che la media di un gran numero

d' osservazioni e nelle miniere e nei pozzi è 1° Fahrenheit per ogni 55 piedi di profondità, e dalle osservazioni di Arago nel pozzo Artesiano di Grenelle a Parigi, l' aumento è di 1° Fahrenheit per ogni 45 piedi. Sebbene non vi possa essere dubbio quanto all' aumento della temperatura nel penetrare entro la crosta della terra, vi è sempre molta incertezza quanto alla legge dell' aumento che varia con la natura del suolo e le altre locali circostanze, ma all' incirca è stato stimato in ragione di 1° per ogni 50 o 60 piedi, il che corrisponde con le osservazioni di Marcet e di de la Rive.

In conseguenza del rapido aumento del calore interno, le sorgenti termali o quelle che sono indipendenti dall' azione vulcanica, che sorgono da una grande profondità, devono di necessità essere rarissime e di un' alta temperatura; e realmente si è ritrovato che niuna è più bassa di 68° Fahr.; quella delle Chaudes Aigues nell' Alvernia è circa 136°. In molti luoghi l' acqua calda dei pozzi Artesiani probabilmente si userà per i bisogni domestici, ed è pure usata al presente nelle manifatture vicine a Stutgardt, nell' Alsazia ec.

È difficile poter sperare che, rispetto alla temperatura reale della terra, si possa ora ottenere qualche informazione da quella dell' oceano, a motivo della mobilità dei fluidi per la quale le masse più fredde cadono al fondo, mentre le più calde s' innalzano alla superficie. Nondimeno si può stabilire che la temperatura del mare decresce con la profondità tra i tropici, mentre al contrario tutti i nostri navigatori settentrionali ritrovano che la temperatura cresce colla profondità nei mari polari. Il cambiamento ha luogo circa il 70° parallelo di latitudine. Fra qualche secolo nondimeno si potrà conoscere se la terra è arrivata in uno stato permanente riguardo al calore, paragonando le osservazioni secolari della temperatura dell' oceano fatte a grandi distanze dalla terra.

Digitized by Google

Se la temperatura terrestre crescesse di 1° per ogni 50 piedi, è chiaro che alla profondità di 200 miglia le sostanze più dure dovrebbero essere in istato di fusione, e in questo caso il nostro globo dovrebbe essere circondato da uno strato di lava sciolta a detta profondità, o dovrebbe essere una palla di fuoco liquido di 7,600 miglia in diametro rinchiusa da una sottile crosta di materia solida, perocchè 200 miglia sono nulla in confronto alla grandezza terrestre. Non vi ha dubbio, la forma della terra come è determinata dal pendolo e dagli archi del meridiano, così come dai moti della luna, indica una originale fluidità e una susseguente consolidazione e riduzione di temperatura per l'irraggiamento: ma che la legge dell'incremento della temperatura sia uniforme alle profondità ognora più crescenti di quelle già ottenute dall'uomo, egli è impossibile affermarlo. In tutti i casi l'interna fluidità è incompatibile collo stato presente della superficie terrestre, poichè la materia terrestre è altrettanto cattivo conduttore del calorico quanto la lava, che spesso ritiene il suo calore ad una piccolissima profondità per anni ed anni dopo che la superficie è raffreddata. Qualunque possa essere per l'irraggiamento della terra nei primi tempi, è certo che esso procede lentissimamente ai giorni nostri: perocchè Fourier ha computato che il calore centrale è decrescente per l'irraggiamento di solo $\frac{1}{300000}^{ma}$ parte d'un grado per secolo. Se è così, non vi può esser dubbio che in ultimo non sarà dissipato: ma per quello che spetta alla vita animale e vegetale, egli è di poca importanza se il centro del nostro pianeta sia liquido fuoco o ghiaccio; poichè la sua condizione nell'uno o nell'altro caso non può avere un sensibile effetto sul clima della superficie. Il fuoco interno non distribuisce neppure calore abbastanza per sciogliere la neve ai poli, sebbene tanto più vicina al centro che qualunque altra parte del globo. L'immensa estensione del fuoco vulcanico attivo, è una delle

cause di calore che non deve esser passata sotto silenzio.

La catena delle Ande dal Chilì al nord del Messico, probabilmente dal Capo Horn allo Stretto di Behring, è un vasto distretto d'azione ignea che racchiude il mare dei Caraibei e l'isole delle Indie Occidentali da un lato, e che si estende a traverso l'Oceano Pacifico tra l'arcipelago Polinesiano, le Nuove Ebridi, le Isole di San Giorgio e degli Amici dall'altra. Una seconda catena comincia colle Isole Aleutiche, si estende al Kamtschatka e di qui passa per le Curilli, il Giappone e le Filippine alle Molucche; quindi si allarga con terribile violenza per l'arcipelago Indiano sino anche alla Baia del Bengala. Un'azione vulcanica può di nuovo esser seguita dall'ingresso del Golfo Persico, a Madagascar, fino a Bourbon, le Canarie e le Azzorre. Quindi, una regione continua di fuoco si estende per circa 1,000 miglia geografiche fino al mar Caspio, racchiudendo il Mediterraneo ed estendendosi al nord ed al sud tra il 35° e 40° parallelo di latitudine, e nell'Asia centrale una regione vulcanica occupa 2,500 miglia geografiche quadrate. I fuochi vulcanici sono sviluppati nell'Islanda con forza tremenda, e la Terra Antartica scoperta da Giacomo Ross, è una formazione ignea della più viva forza, dove un vulcano in grande attività sorge 12,000 piedi sopra il perpetuo ghiaccio di quei polari deserti e alla lontananza di 19°½ dal polo sud. A traverso questa vasta porzione del mondo il fuoco sotterraneo è spesso intensamente attivo producendo tali violenti terremoti ed eruzioni, che i loro effetti accumulati durante milioni di anni possono essere stati cagione di molti dei grandi cangiamenti geologici di origine ignea che hanno già avuto luogo nella terra, e possono occasionarne altri non meno notevoli, quando il tempo, elemento essenziale delle vicissitudini del globo, lo conceda, e la loro energia continui.

Sir Carlo Lyell che ha dimostrato il potere delle cause

esistenti con grande chiarezza, stima che a un dipresso venti eruzioni abbiano luogo annualmente nelle differenti parti del mondo, e molte devono accadere o sono già accadute anche nella più estesa e terribile misura tra popoli tanto incapaci di stimare i loro effetti che di farne memoria. Noi non abbiamo conosciuto l'estensione della terribile eruzione dell'isola di Sumbawa nel 1815, se non per l'accidente di essere stato in quel tempo Governatore di Java Sir Stamford Raffles. Essa cominciò il cinque aprile, ed in luglio non era ancora interamente cessata. Il suolo fu scosso per un'area di 1,000 miglia in circonferenza: i tremiti furono sentiti a Java, alle Molucche, in una gran parte di Celebe, a Sumatra ed a Borneo. Le detonazioni furono udite in Sumatra alla distanza di 970 miglia geografiche in linea retta ed a Ternate 720 miglia nell'opposta direzione. Il terribilissimo turbine portava uomini e bestie in aria, ed eccettuate 26 persone, la popolazione intera dell'isola periva in numero di 12,000. Le ceneri furono portate per 300 miglia fino a Java in quantità tale, che l'oscurità durante il giorno fu più profonda che si abbia memoria essere mai stata nella notte più oscura. L'aspetto del paese fu cangiato dalle correnti di lava e dai sollevamenti ed abbassamenti del suolo. La città di Tomboro fu sommersa, e l'acqua stava alla altezza di 18 piedi in luoghi dove esisteva terra asciutta. Navigli affondati dove si trovavano prima ancorati, ed altri potevano appena penetrare la massa delle ceneri che galleggiavano sulla superficie del mare per molte miglia alla profondità di 2 piedi. Una catastrofe simile a questa, sebbene di minor proporzione, ebbe luogo nell'isola di Bali nel 1808, che non fu saputa in Europa se non dopo degli anni. L'eruzione di Coseguina nella baia di Fonseca, che cominciò il 19 gennaio 1835 e durò molti giorni, fu anche più spaventosa ed estesa ne' suoi effetti che quella di Sumbawa. Le ceneri durante questa eruzione furono portate dalla superiore corrente dell'atmo-

sfera al nord, fino a Chiassa, ch'è lungi più di 400 leghe dalla parte del vento di quel vulcano. Molti vulcani supposti estinti hanno all'improviso scoppiato con inconcepibile violenza. N'è testimonio il Vesuvio in tempi storici, ed il vulcano dell' isola di San Vincenzo a nostri dì, il cui cratere è circondato da grossi alberi, e che non è stato attivo a memoria d' uomini. Vaste tracce sonovi d' origine vulcanica, dove i vulcani hanno cessato di esistere da secoli. Quindi si può concludere che in alcuni, i fuochi sotterranei sono in attivissimo stato, in altri sono inerti, ed in altri appariscono estinti. Vi sono per altro pochi paesi che non siano soggetti a terremoti di maggiore o minore intensità: i tremiti sono propagati come un' ondulazione sonora a distanze tali ch'è impossibile il dire in qual punto abbiano cominciato. In alcuni recenti casi il potere dei terremoti deve essere stato tremendo. Nell' America del Sud non più tardi del 1822 un' area di 100,000 miglia quadrate, estensione eguale a mezza Francia, fu sollevata parecchi piedi sopra il suo presente livello: un racconto pregevolissimo di questo avvenimento fu dato nell' opera *Transactions of the Geological Society* da una dotta amica dell' Autrice, la fu signora Graham, che era presente durante tutto il tempo del formidabile terremoto che si ripetè, per più di due mesi, a corti intervalli; ed essa possedeva l'ingegno per apprezzare, ed aveva l'opportunità di osservare gli effetti nelle circostanze più favorevoli in Valparaiso e per delle miglia lungo le coste dove fu più intenso. Una notevole elevazione di suolo ha avuto luogo di nuovo lungo le coste del Chilì in conseguenza del violento terremoto che accadde ai 20 febbraio 1835. Nel 1819 un solco di terra di 50 miglia in lunghezza a traverso il delta dell'Indo, largo 16 piedi, fu sollevato 10 piedi sopra la pianura. Il lettore può ricorrere agli eccellenti *Principii di Geologia* già menzionati di Lyell per le circostanze più importanti del fenomeno e per gli estesi effetti dei vulcani e

de' terremoti, troppo numerosi ad esser qui rammentati. Nondimeno può qui ricordarsi che innumerevoli terremoti fanno di quando in quando tremare la solida crosta del globo, e portano la distruzione a regioni lontane, progressivamente, sebbene lentamente, compiendo la grand' opera del cangiamento. Un esempio dei più disastrosi ebbe luogo ai 15 di dicembre 1857 nelle provincie napoletane di Basilicata e del Principato Citeriore, dove la distruzione fu estesa e terribile; il numero delle vittime secondo i dati officiali sommò a più di 10,000. Questi terribili strumenti di ruina per quanto possano sembrare variabili e irregolari, devono, come ogni durevole fenomeno, avere una legge che col tempo potrà essere scoperta col mezzo di osservazioni continuate a lungo e fatte accuratamente.

L' esistenza del fuoco vulcanico che investe il globo ad una piccola distanza sotto i nostri piedi è stata attribuita a diverse cause. Da alcuni si è supposto che derivi da un oceano di materia incandescente che sempre esiste nell' abisso centrale della terra. Altri immaginano che esso sia superficiale, e che si debba alla chimica azione negli strati a profondità non grandissima, paragonata colla grandezza del globo. Tanto più, perchè la materia passando per una scala estesissima da vecchie in nuove combinazioni, se queste accadono con rapidità, sono capaci di produrre un intensissimo calore. Secondo altri l' elettricità ch' è così universalmente diffusa con tutte le sue forme entro la terra, se non è la causa immediata de' fenomeni vulcanici, determina almeno le affinità chimiche dalle quali sono prodotti. È evidente che un soggetto cotanto avviluppato nel mistero deve dare origine a molte contemplazioni, in cui ogni ipotesi è accompagnata da difficoltà che la osservazione soltanto può risolvere.

Se non che le vedute di Babbage e di John Herschel sulla causa generale dell' azione vulcanica e dei cangia-

menti nell' equilibrio del calorico interno del globo vanno più d' accordo con le leggi della meccanica e del calorico raggiante di qualunque altra spiegazione proposta. La teoria di questi distinti filosofi, formata indipendentemente l' uno dall' altro, è del pari compatibile coi fenomeni osservati, tanto che la terra sia una crosta solida abbracciante un nucleo di lava liquida, quanto che vi sia solo un vasto serbatoio o strato di materia fusa ad una discreta profondità sotto la crosta superficiale. L' Autrice deve alla gentilezza del signor Lyell la lettura di una interessantissima lettera del signor John Herschel, nella quale questi stabilisce le sue vedute su tale soggetto.

Supponendo che il globo sia puramente una crosta solida che stia sopra una materia fluida o semifluida la quale si estenda fino al centro o no, il passaggio di pressione da una parte della sua superficie ad un' altra per la degradazione dei continenti che esistono e la formazione di nuovi, sarebbe sufficiente a sovvertire l' equilibrio del calorico nell' interno e ad occasionare irruzioni vulcaniche. Perocchè essendo l' interno calorico della terra portato fuori per irraggiamento, un' aggiunta di nuova materia su d' una parte della superficie, come un' aggiunta di copertura, custodendovelo dentro, alzerebbe la temperatura degli strati di sotto, e nel corso dei secoli li ridurrebbe ad una grande profondità allo stato di fusione. Alcune sostanze possono essere convertite in vapore, e se l' accumulazione di nuova materia avesse luogo al fondo del mare, come generalmente è il caso, questa lava sarebbe mista coll' acqua in istato d' ignizione in conseguenza dell' enorme pressione dell' oceano e della materia nuovamente soprapposta che le impedirebbe di spandersi in vapore. Ora Lyell ha dimostrato colla solita sua abilità, che la quantità della materia portata dai fiumi dalla superficie dei continenti è comparativamente insignificante, e che il gran trasporto al fondo dell'oceano

è prodotto lungo le coste per l'azione del mare: quindi J. Herschel dice « la più grande accumulazione della pressione locale è nell'area centrale del profondo mare, mentre l'alleggerimento locale massimo ha luogo lungo le coste rase. Quindi in questo luogo dovrebbero far capo le aperture vulcaniche. » Ma siccome la crosta della terra è molto più debole sulle coste che altrove, essa può più facilmente essere rotta, e come osserva Babbage, immense spaccature possono prodursi per la contrazione della stessa, raffreddandosi dopo di essere stata spogliata d'una parte della sua grossezza originale. La pressione sul fondo dell'oceano sforzerebbe una colonna di lava mista coll'acqua infiammata e i gas a sorgere per un'apertura così formatasi, e J. Herschel dice « quando la colonna arriva ad una tale altezza che l'acqua infiammata può diventare vapore, la gravità specifica della colonna è d'improvviso diminuita, e monta un gitto di vapore misto a lava sino a tanto che ne sia scappato, e la materia depositata al fondo del mare s'accumuli di nuovo nel tempo che l'evacuazione cessa e la fessura si chiude di sopra. »

Questa teoria è perfettamente d'accordo coi fenomeni della natura, poichè, infatti vi sono pochi vulcani attivi ad una grande distanza dal mare, e l'eccezioni che occorrono sono generalmente vicino ai laghi o a vulcani connessi con altri sulle coste marittime. Molti irrompono fuori anche nel fondo dell'oceano, probabilmente dovuti ad alcuni de'sostegni della crosta superficiale che ne apre la via, così che il vapore e la lava sono spinti all'insu a traverso le fessure.

Finalmente Babbage osserva che « in conseguenza dei cangiamenti che continuamente succedono per la distruzione delle foreste, per il riempirsi dei mari e per l'abbassarsi delle terre elevate, il calorico raggiante dalla superficie terrestre varia notevolmente a differenti periodi. In conseguenza di questa variazione ed anche in conseguenza del sopraccoprirsi il fondo del mare per il

detrito della terra, le superfici di eguale temperatura dentro terra cambiano di continuo la loro forma, ed espongono grossi letti vicino alla superficie alle alterazioni della temperatura. L' espansione e la contrazione di questi strati possono formare fessure e vene, produrre terremoti, determinare eruzioni vulcaniche, innalzare continenti ed ancora sollevare catene di montagne.

Le numerose aperture per il calore interno formate dai vulcani, dalle sorgenti calde, e l' emissione del vapore, tanto frequente nelle regioni vulcaniche, senza dubbio mantengono la tranquillità dell' interna massa fluida che sembra essere perfettamente inerte a meno che non sia posta in moto da disuguale pressione.

Ma a qualunque causa il crescente calore della terra ed i sotterranei fuochi possano finalmente attribuirsi, certo è che, tranne alcuni esempi locali, essi non hanno sensibile effetto sulla temperatura della superficie terrestre. Si può per questo concludere che il calore della terra sopra la zona della temperatura uniforme è interamente dovuto al sole.

La forza dei raggi solari dipende molto dalla maniera nella quale essi cadono, come agevolmente conosciamo dai differenti climi del nostro globo. Sebbene il sole sia circa tre milioni di miglia più vicino alla terra nell' inverno che nell' estate, i suoi raggi battono l' atmosfera nell' emisfero nordico tanto obbliquamente, che essa assorbe una quantità di calorico molto maggiore che quando essi sono più diretti (N. 217). Per verità questa è tanto grande, che, quando il sole è all' altezza di 30°, una metà del suo calore è assorbita dall'atmosfera, e questo cresce rapidissimamente allorchè il sole cade verso l' orizzonte. Ciò non ostante, quel calorico non va perduto: esso è molto benefico per la terra, essendo realmente il calore che supplisce la massima parte di quello che è irraggiato nello spazio durante l' assenza del sole. Il prof. Dove ha dimostrato, prendendo in tutte

le stagioni la media delle temperature di punti sulla superficie terrestre diametralmente opposti l' uno dall'altro, che la temperatura media di tutta la superficie terrestre in giugno, quando noi siamo nella maggior lontananza dal sole, eccede considerevolmente quella in dicembre, allorchè noi gli siamo più vicini, dovendosi all' eccesso dell' acqua nell' emisfero meridionale, e a quello della terra nel nordico, un clima generale insulare nel primo e un clima continentale nell' ultimo.

Le osservazioni de' navigatori polari e quelle di J. Herschel al Capo di Buona Speranza dimostrano che la diretta influenza riscaldante dei raggi solari è massima all' equatore, e che diminuisce gradatamente come cresce la latitudine: all' equatore il massimo è $48°\frac{3}{4}$, mentre in Europa non ha mai ecceduto $29°\frac{1}{2}$.

Pouillet ha calcolato con singolare sagacità mediante una serie d' osservazioni fatte da lui, che tutta la quantità di calore che la terra annualmente riceve dal sole è tale da essere bastante a fondere uno strato di ghiaccio che coprisse l' intero globo con 46 piedi di altezza. Parte di questo calore è irraggiato nello spazio, ma di gran lunga la maggior parte discende nella terra durante l' estate verso la zona della temperatura uniforme, quindi ritorna alla superficie nel corso dell' inverno e tempera il freddo del suolo e dell' atmosfera nel suo passaggio alle regioni eteree, dove si perde o meglio dove è combinato coll' irraggiamento degli altri corpi dell' universo onde mantenere la temperatura dello spazio. La forza del sole essendo massima tra i tropici, il calorico più si approfonda quivi che altrove, e la profondità gradatamente diminuisce verso i poli, ma il calore è anche trasmesso lateralmente dagli strati più caldi ai più freddi al nord e al sud dell' equatore, ed aiuta a temperare la rigidezza delle regioni polari.

Il calore medio della terra sopra lo strato di temperatura costante è determinato da quello delle sorgenti,

e se la sorgente ritrovasi sopra un suolo elevato, la temperatura è ridotta dal calcolo a quella che sarebbe al livello del mare, supponendo che il calore del suolo varii come il calore dell' atmosfera, cioè circa 1° Fahr. per ogni 333°7 piedi. Da un paragone della temperatura di numerose sorgenti con quella dell' aria, Brewster conclude che vi è una linea particolare che passa vicino a Berlino, nella quale la temperatura delle sorgenti e quella dell' atmosfera coincidono; che accostandosi al cerchio artico la temperatura delle sorgenti è sempre più alta che quella dell' aria, mentre andando verso l'equatore è più bassa.

Poichè il calore degli strati superficiali della terra decresce dall' equatore ai poli, vi sono molti luoghi in ambi gli emisferi, dove il suolo ha la stessa media temperatura. Se fossero tirate delle linee per tutti quei punti degli strati superiori del globo che hanno la stessa annua media temperatura, esse sarebbero quasi parallele all' equatore tra i tropici, e diverrebbero sempre più irregolari e sinuose verso i poli. Queste linee sono chiamate isogeotermiche. Una quantità di locali circostanze disturba il loro parallelismo anche tra i tropici.

La temperatura del suolo all' equatore è più bassa sulle coste e sulle isole che nell' interno dei continenti: la parte più calda è nell' interno dell' Africa: ma è d' ordinario modificata dalla natura del suolo, specialmente se questa è vulcanica.

Molto si è fatto da pochi anni per accertare la maniera colla quale il calore è distribuito sopra la superficie della terra e le variazioni di clima, le quali sotto un generale aspetto indicano ogni cambiamento della atmosfera, come di temperatura, umidità, variazioni di pressione barometrica, purezza d' aria, serenità di cielo, effetti dei venti ed elettrica tensione. La temperatura dipende dalla proprietà che posseggono, più o meno, tutti i corpi di assorbire e di emettere o irraggiare sempre il

calorico. Quando lo scambio è eguale, la temperatura di un corpo rimane la stessa, ma quando l'irraggiamento eccede l'assorbimento, il corpo diventa più freddo, e viceversa. Affine di determinare la distribuzione del calore sulla superficie della terra, è necessario ritrovare un tipo col quale la temperatura delle differenti latitudini possa essere paragonata. Per questo bisogna assicurarsi coll'esperimento della media temperatura del giorno, del mese, dell'anno in quanti più luoghi è possibile sulla terra. L'annua temperatura media può essere ritrovata sommando le temperature medie di tutti i mesi nell'anno e dividendo la somma per 12. La media di 10 o 15 anni la darà approssimativamente: perchè sebbene la temperatura in alcuni luoghi possa essere soggetta a grandissime variazioni, nondimeno essa non devia mai più che di pochi gradi dal suo stato medio, il quale per conseguenza offre un buon tipo di confronto. Come tipo, nondimeno, si richiede la maggiore accuratezza.

Se il clima dipendesse unicamente dal calore solare, ogni luogo che ha la stessa latitudine, avrebbe la stessa annua temperatura media. Il moto del sole nell'eclittica infatti cagiona variazioni perpetue nella lunghezza del giorno, e nella direzione dei raggi rispetto alla terra; nondimeno, siccome la causa è periodica, la temperatura annuale media dal solo moto solare deve essere costante in ogni parallelo di latitudine; perocchè è manifesto che l'accumulamento del calore nelle lunghe giornate d'estate che non è che poco diminuito per irraggiamento durante le brevi notti, è bilanciato da una piccola quantità di calorico ricevuto durante i brevi dì invernali e dal suo irraggiamento nelle lunghe gelate e serene notti. Infatti, se il globo fosse da per tutto ad uno stesso livello sulla superficie del mare e di sostanza uniforme da assorbire e irraggiare uniformemente il calorico, il medio calore solare sarebbe regolarmente distribuito sulla superficie di esso

in zone di eguale temperatura annua, parallele all' equatore, dal quale decrescerebbe ad ogni polo come il quadrato del coseno di latitudine, e la sua quantità dipenderebbe solo dall' altezza del sole e dalle correnti atmosferiche. La distribuzione del calore nondimeno negli stessi paralleli è irregolarissima in tutte le latitudini, eccetto che in quelle dei tropici, dove le linee isotermiche, ossia le linee che passano per i luoghi di eguale annua temperatura media, sono più approssimativamente parallele all' equatore. Le cause di disturbo sono numerosissime; ma quelle che hanno la massima influenza, secondo Humboldt, al quale siamo debitori per la maggior parte di quello che conosciamo su tale argomento, sono l' elevazione dei continenti, la distribuzione della terra e dell' acqua sulla superficie del globo, le quali hanno differenti poteri d' assorbimento e di irraggiamento, le variazioni della superficie del suolo, come foreste, deserti di sabbie, pianure verdeggianti, roccie e simili, le catene di montagne coperte da masse di neve, che diminuiscono la temperatura, la riverberazione dei raggi solari nelle valli che l' aumenta, e lo scambio delle correnti d' aria e d' acqua che mitigano il rigore dei climi, le correnti calde che vengono dall' equatore che raddolciscono la rigidezza dei geli polari, e le correnti fredde dei poli che temperano l' intenso calore delle regioni equatoriali. A queste si può aggiungere la coltura, sebbene la sua influenza non si estenda che sopra una piccola parte del globo, essendo abitata solo una quarta parte della terra.

La temperatura decresce, crescendo l' altezza sul livello del mare così come la latitudine. L' aria nelle regioni più alte dell' atmosfera è molto più fredda che nelle basse, a motivo che l' aria calda si espande com' essa s' innalza ; per il che la sua capacità pel calorico cresce ; una gran porzione ne diventa latente o assorbita e meno sensibile. Una parte dell' aria alla superficie terrestre, la cui temperatura è 70° Fahr., se fosse portata all' altezza

di due miglia e mezzo, si espanderebbe tanto, che la sua temperatura si ridurrebbe a 50°, e nelle eteree regioni la temperatura è 239° sotto lo zero di Fahrenheit.

L' altezza alla quale la neve si ritrova perpetua, decresce dall' equatore ai poli, ed è maggiore nell' estate che nell' inverno. Ma varia per molte circostanze. La neve di rado cade quando il freddo è intenso e l'atmosfera asciutta. Le grandi foreste producono umidità per la loro evaporazione, e gli altipiani al contrario asciugano e riscaldano l' aria, perchè l' aria a grandi elevazioni è troppo rarefatta per assorbire molto calore solare. Nelle Cordilliere delle Ande le pianure di sole 25 leghe quadrate innalzano la temperatura di 3° a 4° sopra quella che si ritrova alla stessa altezza sul rapido declivio d'una montagna; conseguentemente la linea delle nevi perpetue varia secondo che prevale l'una o l'altra di queste cause. L' esposizione in generale ha pure una grande influenza: perciò la linea delle nevi perpetue è molto più alta sul lato settentrionale che sul meridionale dell'Himalaya, in parte, perchè l' aria è quasi che priva della sua umidità, la quale precipita avanti di arrivare alla parte settentrionale delle montagne. In generale apparisce che tra i tropici la media altezza alla quale la neve ritrovasi perpetua è circa 15,207 piedi sopra il livello del mare, mentre la neve non copre il suolo continuamente al livello dell' oceano sin presso al polo nord. Nell' emisfero meridionale nondimeno il freddo è maggiore che nel settentrionale. Nella Terra Sandwich tra i gradi 54 e 58 di latitudine, la neve perpetua ed il ghiaccio si estendono al livello del mare; e nell' isola di San Giorgio nel 53° di latitudine sud, che corrisponde alla latitudine delle contrade centrali d' Inghilterra, la neve perpetua discende anche al livello dell' oceano. È stato dimostrato che questo eccesso di freddo nell' emisfero meridionale non può essere attribuito all' inverno, che è più lungo del nostro di 7 giorni 3/4. È probabile che questo freddo si debba

attribuire all' aperto mare che circonda il polo sud, apertura che permette alle montagne di ghiaccio di discendere fino a una più bassa latitudine di 10° di quello che facciano le montagne di ghiaccio nell' emisfero settentrionale, a motivo delle numerose ostruzioni opposte loro dalle isole e dai continenti attorno il polo nord. Le montagne di ghiaccio dei mari artici di rado galleggiano più al sud delle Azzorre; mentre quelle che vengono dal polo sud, discendono ad una latitudine così bassa come quella del Capo di Buona Speranza.

L' influenza delle catene di montagne non dipende interamente dalla linea del ghiaccio perpetuo. Queste catene attraggono e condensano i vapori galleggianti nell'aria e li rimandano giù in torrenti di pioggia. Irraggiano il calorico nell' atmosfera ad un' elevazione minore ed aumentano la temperatura delle valli per la riflessione dei raggi solari, e per il riparo che danno ai venti predominanti. Ma all'opposto una delle cause più generali e potenti del freddo, che deriva dalle vicinanze delle montagne, sono le correnti gelate di vento che slanciansi dalle alte sommità lungo le rapide chine e raffreddano le valli circostanti; tale è il vento settentrionale chiamato *bise* nella Svizzera, e *tramontana* in Italia.

Dopo l' elevazione, la differenza nel potere di irraggiamento e d' assorbimento del mare e del suolo, ha la più grande influenza nel disturbare la regolare distribuzione del calore. La estensione della terra asciutta non è al di là della 4ª parte di quella dell' oceano; cosicchè la generale temperatura dell' atmosfera riguardata come il risultato delle temperature parziali di tutta la superficie del globo è potentissimamente modificata dal mare. Inoltre l' oceano agisce più uniformemente sull' atmosfera di quello che la superficie variata della massa solida, sì per l' uniformità della sua curvatura, che per la sua omogeneità. Nelle sostanze opache l' accumulamento del calorico è confinato allo strato più vicino alla super-

ficie. Alla superficie i mari si riscaldano meno del terreno, a motivo che i raggi solari prima di essere estinti penetrano nel trasparente liquido a maggior profondità ed in maggior numero che nella massa opaca. Inoltre l' acqua ha un potere irraggiante considerevole che insieme all' evaporazione ridurrebbe la superficie dell'acqua dell'oceano a bassissima temperatura, se le particelle fredde non cadessero al fondo a motivo della loro densità maggiore. I mari conservano una porzione notevole del calorico che ricevono in estate, e per la loro salsedine non gelano così presto come l' acqua dolce. Cosicchè, in conseguenza di tutte queste circostanze l' oceano non è soggetto alle variazioni di calore come il suolo, e impartendo la sua temperatura ai venti, diminuisce il rigore dei climi sulle coste e sulle isole; che non sono mai sottoposte a quegli estremi di calore e di freddo che si sentono nell' interno dei continenti, sebbene esse sieno soggette alle nebbie e alla pioggia per l' evaporazione degli adiacenti mari. Da ogni lato dell' equatore fino al 48mo grado di latitudine la superficie dell' oceano è in generale più calda che l' aria soprastante. La media della differenza delle temperature di mezzodì e di mezzanotte è circa 1°·37, la massima differenza non eccedendo mai da 0°·36 a 2°·16, perciò è molto più fredda che l' aria sopra la terra.

Sulla terra la temperatura dipende dalla natura del suolo e dei suoi prodotti, e dalla sua abituale umidità o secchezza. Dall' estremità orientale del deserto di Sahara tutto a traverso l' Affrica, il suolo è quasi interamente di sterile sabbia, e lo stesso deserto estendesi sopra un' area di 194,000 leghe quadrate, eguale a due volte l' area del Mediterraneo, ed innalza la temperatura dell' aria per l' irraggiamento da 90° a 100°, ciò che deve avere una grandissima influenza. Al contrario la vegetazione raffredda l'aria per l' evaporizzazione e per l' evidente irraggiamento che si parte dalle foglie delle piante, le quali as-

sorbono più calorico che non ne rigettino. Le savane dell' America Meridionale coprono un' estensione 10 volte maggiore della Francia, occupando non meno di circa 50,000 leghe quadrate: il che è più dell'intera catena delle Ande e di tutti gli sparsi gruppi di monti del Brasile. Queste, insieme colle pianure dell'America Settentrionale e le steppe dell'Europa e dell' Asia devono avere un grande effetto raffreddante sull' atmosfera, se si considera che nelle notti calme e serene esse fanno discendere il termometro di 12° o 14°, e che nei prati e nelle macchie d' Inghilterra l' assorbimento del calore dell' erba è sufficiente a far discendere la temperatura al punto della congelazione durante la notte per 10 mesi dell' anno. Le foreste raffreddano l'aria ancora per l' ombra che difende il suolo dai raggi solari, e per l' evaporizzazione che si parte dai rami. Hales trovò che le foglie d'una sola pianta d' Helianthus, alta 3 piedi, aveva quasi 40 piedi di superficie; e se viene considerato che le regioni boschive della riviera delle Amazzoni e la parte più alta dell' Orenoco occupano un' area di 260,000 leghe quadrate, ci si può formare una idea dei torrenti di vapore che si partono dalle foglie delle foreste di tutto il globo. Nondimeno gli effetti frigorifici della loro evaporazione sono contrastati in qualche modo dalla calma perfetta che regna nelle solitudini tropicali. I fiumi senza numero, i laghi, gli stagni e le paludi dispersi in mezzo ai continenti assorbono calorico e raffreddano l' aria per la evaporizzazione; ma poichè le particelle fredde e dense cadono al fondo, l' acqua profonda diminuisce il freddo dell' inverno sino a tanto che non si è formato il ghiaccio.

In conseguenza della differenza nei poteri irraggianti ed assorbenti del mare e del suolo, la loro configurazione modifica grandemente la distribuzione del calore sopra la superficie del globo. Sotto l'equatore solo una 6ª parte della circonferenza è terraferma; e la superficiale estensione del suolo negli emisferi settentrionale e meridionale

è nella proporzione di tre a uno. L'effetto di questa proporzione disuguale è maggiore nelle zone temperate che nella zona torrida; perchè l'area del suolo nella zona temperata settentrionale è a quella della meridionale come 13 ad 1; mentre la proporzione del suolo fra l'equatore ed i tropici è come 5 a 4. Egli è un fatto curioso indicato da Gardner, che solo $\frac{1}{77}^{ma}$ parte del suolo del globo ha terraferma opposta diametralmente a terraferma. Questa disposizione sproporzionata della parte solida del globo ha una potente influenza sulla temperatura dell'emisfero meridionale. Ma oltre queste grandi modificazioni, le penisole, i promontori, i capi che sporgono fuori nell'oceano, insieme con le baie e i mari interni, tutti modificano la temperatura. A questo si può aggiungere la posizione delle masse continentali riguardo ai punti cardinali. Tutte queste diversità di terreno e d'acqua hanno influenza sulla temperatura per l'azione dei venti. Per questo motivo la temperatura è più bassa sulle coste orientali dell'Antico e Nuovo Mondo, che sulle occidentali. Perocchè, considerando l'Europa come un'isola, la temperatura generale è mite in proporzione che la configurazione è aperta verso l'oceano atlantico, la cui temperatura superficiale al nord sino a 45° e 50° di latitudine non cade sotto 48° o 51° di Fahrenheit anche nel mezzo dell'inverno. Al contrario, il freddo della Russia nasce dall'essere esposta ai venti settentrionali ed orientali. Ma la parte Europea di quest'impero ha climi meno rigidi che l'asiatica, perchè essa non si estende ad una così alta latitudine.

L'interposizione dell'atmosfera modifica tutti gli effetti del calore solare. La terra comunica la sua temperatura così lentamente, che Arago ha in diverse occasioni ritrovato da 14° a 18° di differenza tra il calore del suolo e quello dell'aria due o tre pollici sopra il medesimo.

Le circostanze che sono state enumerate e molte altre, concorrono nel disturbare la distribuzione rego-

lare del calore sul globo, e danno occasione ad innumerevoli locali irregolarità. Nondimeno l'annua media temperatura diventa gradatamente più bassa dall'equatore ai poli. Ma la diminuzione del calore medio è più rapida fra il 40° e il 45° di latitudine sì in Europa che in America; il che va di perfetto accordo con la teoria: quindi si vede che la variazione del quadrato del coseno di latitudine (N. 127), che esprime la legge del cangiamento di temperatura, è al massimo verso il 45° di latitudine. La media annua temperatura sotto la linea nell'America è circa 81° $\frac{1}{2}$ Fahrenheit. In Affrica si dice essere quasi 83°. La differenza probabilmente deriva dai venti della Siberia e del Canadà, la influenza raffreddante dei quali è sensibilmente provata in Asia ed in America anche alla lontananza di 18° dall' equatore.

Le linee isotermiche sono pressochè parallele sotto l' equatore sino circa il 22° grado di latitudine da ogni lato, dove cominciano a perdere il loro parallelismo, e continuano a perderlo sempre più che la latitudine aumenta. Rispetto all' emisfero settentrionale la linea isotermica di 59° Fahrenheit passa tra Roma e Firenze nella latitudine 43° e vicino a Raleigh nella Carolina nord, latitudine 36°: quella di 50° di eguale annua temperatura scorre a traverso i Paesi Bassi, latitudine 51°, e vicino a Boston negli Stati Uniti, latitudine 42° $\frac{1}{2}$. Quella di 41° passa vicino a Stockolm, latitudine 59° $\frac{1}{2}$; e la Baia di San Giorgio, Terra Nuova, latitudine 48°; finalmente la linea di 32°, punto di congelazione dell' acqua, passa per Ulea nella Lapponia, latitudine 66°, e Table-Bay nelle coste del Labrador, latitudine 54°. Così è manifesto che le linee isotermiche che sono quasi parallele all' equatore per circa 22°, dopo deviano sempre più.

Dalle osservazioni fatte durante i numerosi viaggi nei mari artici si è ritrovato che le linee isotermiche di Europa e di America sono intieramente separate nelle alte latitudini, e circondano due poli di massimo freddo: uno,

nella latitudine 79° nord e nella longitudine 120° est, ha una media temperatura di 2° Fahrenheit; e l'altro, la cui temperatura fu determinata da David Brewster essere di 3° ½ Fahrenheit, per le osservazioni di E. Parry è vicino all'isola Melville. Il polo della rotazione della terra, la cui media temperatura è probabilmente non inferiore a 15° Fahrenheit, è quasi il cammino di mezzo tra i due; e la linea che unisce questi punti del freddo massimo è quasi coincidente col diametro del bacino polare che lo divide, e passa tra le sue grandi aperture nell'oceano Pacifico e nell'Atlantico; indizio molto rimarchevole, ed importante della mancanza di terra e della prevalenza di un clima materialmente più mite nell'Oceano polare, probabilmente non inferiore a 15° Fahrenheit.[1] Si crede che due poli corrispondenti di massimo freddo esistano nell'emisfero meridionale, sebbene manchino le osservazioni per tracciare il corso delle linee isotermiche meridionali con la stessa accuratezza delle settentrionali.

Le linee isotermiche o quelle che passano per i luoghi dove l'annua media temperatura dell'aria è la stessa, non coincidono sempre con le linee isogeotermiche che sono quelle che passano per i luoghi dove la media temperatura del suolo è la stessa. Brewster nel discutere questo soggetto ritrova che le linee isogeotermiche sono sempre parallele alle linee isotermiche: conseguentemente l'istessa formula generale servirà a determinare le une e le altre, poichè la differenza è una quantità costante ottenuta colle osservazioni, e dipendente dalla distanza del luogo dalla linea isotermica neutrale. Questi risultati sono confermati dalle osservazioni di Kupffer di Kassan durante le sue escursioni al nord, il quale dimostra che le porzioni europee ed americane della linea isogeotermica di 32° Fahrenheit attualmente si dividono e girano attorno

---

[1] *Meteorologia* di J. Herschel.

i due poli di massimo freddo. Questo viaggiatore notava ancora che la temperatura dell' aria e quella del suolo decrescono rapidissimamente verso il 45° di latitudine.

È evidente che due luoghi possono avere la stessa media annua temperatura, eppure differire materialmente nel clima. In uno, gl' inverni possono essere miti e le estati fredde, mentre un altro può avere gli estremi di freddo e di calore. Le linee che passano per i luoghi che hanno la stessa media estiva o l' istessa media invernale temperatura non sono parallele nè alle linee isotermiche e isogeotermiche, nè l'une all'altre, e differiscono anche più dai paralleli di latitudine. In Europa la latitudine di due luoghi che hanno lo stesso annuo calore non differisce mai più di 8° o 9°, mentre la differenza nella latitudine di quelli che hanno la stessa annua media temperatura invernale è qualche volta 18° o 19°. A Kassan, nell'interno della Russia, alla latitudine 55°·48, quasi la stessa che quella di Edimburgo, la media annua temperatura è circa 37°·6; ad Edimburgo è 47°·84. A Kassan la media temperatura estiva è 64°·84, e quella dell'inverno 2°·12, mentre ad Edimburgo la temperatura media estiva è 58°·28, e l' invernale 38°·66. Quindi è chiaro che la differenza della temperatura invernale è molto maggiore dell' estiva. A Quebec l' estati sono così calde come a Parigi, e l' uva qualche volta matura all' aperto, mentre gl' inverni sono così rigidi come a Pietroburgo, la neve giace 5 piedi alta per parecchi mesi, i carri con ruote non si possono usare, il gelo è troppo duro per isdrucciolarvi sopra, il viaggiare si fa in slitte, e spesso sul ghiaccio del fiume San Lorenzo.

Il freddo all' isola Melville ai 15 gennaio 1820, secondo E. Parry, fu 55° sotto lo zero di Fahrenheit, e quando il dottor Kane fu sulla costa nordica della Groenlandia, era 70° sotto questo punto, nondimeno il calore estivo nel giorno è in queste latitudini insopportabile.

Tutte le osservazioni tendono a provare che tutti i climi

della terra sono stabili e che le loro vicissitudini sono solo periodi od oscillazioni di maggiore o minore estensione, le quali scompariscono nella media annua temperatura di un numero sufficiente di anni. Questa costanza della media temperatura annua dei differenti luoghi della superficie del globo mostra che la stessa quantità di calore che annualmente si riceve dalla terra è annualmente irraggiata nello spazio, e che sarebbe lo stesso ancora, se la quantità di calore emesso dal sole, variasse con le sue macchie, imperocchè se di più se ne ricevesse, di più sarebbe irraggiato. Nondimeno una quantità di cause possono disturbare il clima d'un luogo; la coltivazione lo può rendere più caldo, ma questo succede a spese di qualche altro luogo che diventa più freddo nella stessa proporzione. Vi può essere una successione di estati fredde e di miti inverni: in alcuni altri paesi ha luogo il contrario per produrre il compenso: venti, pioggie, nevi, nebbie e gli altri meteorologici fenomeni sono i ministri impiegati per eseguire questi cambiamenti. La distribuzione del calore può variare col variare delle circostanze, ma l'assoluta quantità perduta e acquistata da tutta la terra nel corso d'un anno, se non è invariabilmente la stessa, è almeno periodica.

SEZIONE XXVI.

Influenza della temperatura sulla vegetazione — La vegetazione varia con la latitudine e l'altezza sul mare — Distribuzione geografica delle piante terrestri — Distribuzione delle piante marine — Coralline — Animali a conchiglia — Rettili — Insetti — Uccelli e Quadrupedi — Varietà dell'umana razza, e non di meno identità della specie.

Il decrescimento graduale di temperatura nell'aria e nel suolo dall'equatore ai poli è chiaramente indicato dalla sua influenza sulla vegetazione. Nelle valli della zona torrida dove l'annua temperatura media è altis-

sima, e dove vi è molta luce ed umidità, la natura abbellisce il suolo di tutto il lusso di una perpetua estate. La palma, la bombax ceiba, ed una quantità di magnifiche piante alte 150 o 200 piedi più dei banani, dei bambù, delle felci arboree e innumerevoli altre produzioni tropicali, così s' intralciano colle piante rampicanti e parassite da presentare spesso una inestricabile barriera. Se non che la ricchezza della vegetazione diminuisce a gradi colla temperatura: allo splendore delle foreste tropicali succedono le regioni dell' olivo e della vite: queste sono seguite dai verdeggianti prati dei climi più temperati; quindi vengono il sambuco ed il pino che probabilmente devono la loro esistenza in altissime latitudini più al calore del suolo che a quello dell' aria. Ma queste piante, ancorchè resistano, diventano intristiti alberelli, sino a che un verdeggiante tappeto di musco e di licheni immagliati di fiori presentano l' ultimo segno della vita vegetale durante la breve cocente estate delle regioni polari. Tale è l' effetto del freddo e della diminuita luce sul regno vegetale, che il numero delle specie che crescono sotto la linea e nelle latitudini settentrionali di 45° e 68° sono nella proporzione di 12, 4, ad 1. Non ostante la notevole differenza tra la flora tropicale e la polare, la luce e la umidità sembrano essere quasi i soli requisiti per la vegetazione: poichè nè calore nè freddo, nè anche la relativa oscurità assolutamente distruggono la fertilità della natura. Nelle pianure salate e nei sabbiosi deserti solo prevale la sterilità disperante. Le piante crescono sui margini delle sorgenti calde; esse formano le oasi laddove si ritrova umidore in mezzo alle abbrucianti arene dell' Affrica, esse si veggono nelle caverne quasi prive di luce, sebbene generalmente bianchiccie e deboli. L' oceano è fertile di vegetazione. La neve istessa non solo produce un lichene rosso scoperto da Saussure nelle gelate declività delle Alpi, rincontrata dall' Autrice abbondantemente, nel passare il Col de Bon-

homme dalla Savoia al Piemonte, e dai navigatori polari nelle artiche regioni, ma somministra un ricovero alle produzioni di quegli inospiti climi contro i penetranti venti che spazzano i campi del perpetuo gelo. Quegli intrepidi marinari raccontano che sotto una tale fredda difesa sorgono piante, che sciolgono la neve pochi pollici intorno, e che la parte superiore essendo novellamente gelata di subito in una trasparente foglia di ghiaccio, riceve i raggi solari che riscaldano ed accarezzano le piante in tale serra naturale, sino a che il ritorno dell' estate non rende più necessaria la sua protezione.

L' azione chimica della luce è ciò nonostante assolutamente necessaria per il crescere delle piante che ritraggono il loro principale nutrimento dall' atmosfera. Esse consumano il gas acido carbonico, il vapore acqueo, l' azoto e l' ammoniaca che lo contiene; ma è la chimica azione della luce che le abilita ad assorbire, a scomporre e consolidare queste sostanze in legno, foglie, fiori e frutti. L' atmosfera sarebbe presto spogliata di questi elementi della vita vegetale, se essi non fossero di continuo prodotti dalla creazione animale; mentre in ricambio le piante decompongono l' umidità ch' esse assorbiscono, ed avendo assimilato il gas acido carbonico, esalano l' ossigeno pel mantenimento della creazione animata, e così conservano un giusto equilibrio. Quindi sono i potenti e combinati influssi di tutti i raggi solari che danno quella splendidezza alle foreste tropicali, mentre colla loro decrescente energia nelle latitudini più alte la vegetazione diventa sempre meno vigorosa. Perciò è vano attendere che i frutti e i fiori coltivati nelle nostre serre possano mai avere il sapore, la fragranza e il colore simili a quelli che essi acquistano dalla viva luce dei loro climi nativi.

La maggior parte delle specie conosciute delle piante, è indigena all' America equinoziale. L' Europa contiene circa la metà di quel numero: l' Asia con le sue isole

qualche cosa meno dell'Europa: l'Australia con le sue isole del Pacifico sempre meno; e nell' Affrica vi sono meno produzioni vegetali conosciute che in altra parte del globo di eguale estensione, perchè quella ricca e lussureggiante regione scoperta da Livingstone deve essere ancora esplorata botanicamente. Pochissime piante sociali come le graminacee e le scope che coprono larghi tratti di suolo, si ritrovano tra i tropici, eccettuato sulle coste marittime e le pianure elevate. Alcune eccezioni però a questo s' incontrano nei *jungles* del Deccan ecc. Nelle regioni equatoriali, dove il caldo è sempre grande, la distribuzione delle piante dipende dalla media annua temperatura, mentre che nelle zone temperate la distribuzione è regolata in qualche modo dal calore estivo. Alcune piante richiedono un calore moderato di lunga durata; altre fioriscono meglio dove gli estremi del caldo e del freddo sono maggiori. La regione del frumento è estesissima: esso può essere coltivato al nord fino a 60° di latitudine. Ma nella zona torrida rare volte spigherà sotto un'elevazione minore di 4,500 piedi sopra il livello del mare a motivo dell' esuberanza della vegetazione; nè maturerà sopra l'altezza di 12,000 piedi; nel Tibet però matura a una più grande elevatezza. Il colonnello Sykes stabilisce che nel Deccan il frumento prospera a 1,800 piedi sopra il livello del mare. I vini migliori sono prodotti tra i 30° e 45° di latitudine nord. Rispetto al regno vegetale per quanto ha rapporto alla temperatura, l' elevazione equivale alla latitudine: nell' ascendere le montagne della zona torrida, la ricchezza della vegetazione tropicale diminuisce, crescendo l' altezza: vi ha luogo una successione di piante simili, sebbene non identiche, a quelle ritrovate nella latitudine di corrispondente media temperatura: le alte foreste gradatamente perdono la loro splendidezza; succedono alberelli intristiti sino a che alla fine il progresso dei licheni è represso dalle nevi eterne. Sul vulcano di Teneriffa vi sono cinque zone successive, ognuna produttrice

d' una distinta famiglia di piante. La prima è la regione delle viti; la seconda degli allori; queste sono seguite dai distretti dei pini, delle eriche o scope e delle graminacee; ed il tutto copre la china del Picco per una estenzione di 11,200 piedi di altezza perpendicolare.

Vicino all'equatore la quercia fiorisce ad una altezza di 9,200 piedi sopra il livello del mare; e sulle sublimi cime dell' Himalaya, la primula, la convallaria e la veronica fioriscono, ma non la primavera, il giglio della valle, ornamento de' nostri prati: imperocchè sebbene l' erbario raccolto da Moorcroft nel suo viaggio da Neetee a Daba e Gartope nella Tartaria Chinese ad altezze uguali od anche maggiori del Monte Bianco abbondi in generi alpini ed europei, le specie sono generalmente differenti con la unica eccezione della Rhodiola rosea che è identica con la specie che fiorisce in Scozia. Non è in questo esempio solo che si ottiene la somiglianza del clima senza l' identità delle produzioni: per tutto il globo una certa analogia di struttura e d' apparenza è frequentemente scoperta tra le piante, che sotto corrispondenti circostanze sono nondimeno specificamente differenti. Si è anche detto che una distanza di 25° di latitudine produce un totale cangiamento non solo di produzioni vegetali ma di esseri animali ancora. Certo è che ogni separata regione di suolo e di acqua dalle gelate coste dei circoli polari alle abbrucianti regioni della zona torrida, possiede una flora di specie peculiarmente propria. Tutto l' intero globo è stato diviso dai fisici geografi in vari distretti botanici che differiscono quasi interamente nelle loro specifiche produzioni vegetali, i cui limiti sono più decisi quando sono separati da una vasta estensione di mare, di catene di montagne, deserti arenosi, pianure salate o mari interni. Un numero notevole di piante sono comuni alle regioni nordiche dell' Asia, dell' Europa, dell' America dove i continenti quasi si uniscono: ma nell' accostarsi al sud le flore di queste tre grandi divi-

sioni del globo differiscono sempre più anche negli stessi paralleli di latitudine; il che fa vedere che la sola temperatura non è la causa della quasi completa diversità delle specie che in ogni dove prevale. Le flore della China, della Siberia, della Tartaria, del distretto europeo che racchiude l'Europa centrale e le coste del Mediterraneo, e la regione orientale che comprende le contrade attorno i mari Nero e Caspio, tutte differiscono nel carattere specifico. Ventiquattro specie soltanto furono ritrovate da Bonpland e Humboldt nell' America equinoziale identiche con quelle dell' Antico Mondo, e Roberto Brown non solo ritrovò che esiste una peculiare vegetazione nella Australia fra il 33mo e 35mo parallelo di latitudine sud, ma che alla estremità orientale ed occidentale di questi paralleli, una sola specie non è comune ad ambedue, e che certi generi sono ancora quasi interamente confinati a questi luoghi. Il numero delle specie comuni all' Australia e all'Europa sono soltanto 166 in 4100; e probabilmente alcune di queste sono state colà portate dai coloni. Ma la più gran parte di quel continente rimane tuttora inesplorato. Nonpertanto questa proporzione eccede quello che è stato osservato nell' Affrica meridionale, e da ciò ch' è già stato stabilito, la proporzione delle specie europee nell' America Equinoziale è anche minore.

Le isole partecipano della vegetazione dei continenti più vicini: ma quando sono lontanissime dalla terra, le flore dell' isole sono del tutto peculiari. Le Isole Aleutiche che s' estendono tra l' Asia e l' America, partecipano della vegetazione delle parti nordiche dei due continenti, e possono aver servito come di catena di comunicazione. In Madera e Teneriffa si sono ritrovate le piante del Portogallo, della Spagna, delle Azorre e della costa nord affricana, e le Canarie contengono un gran numero di piante che appartengono alle coste d'Affrica. Ma ognuna di quest' isole possiede una flora che non esiste altrove: e Sant' Elena, che sola se ne sta nel mezzo dell' Atlan-

tico produce sole due o tre specie di piante riconosciute come appartenenti ad un'altra parte del mondo.

Si vede dalle investigazioni di Humboldt che tra i tropici le piante, come le graminacee e le palme che hanno solo un lobo seminale stanno alla tribù che ha due lobi, come la maggior parte delle specie europee, nella proporzione di 1 a 4; nelle zone temperate sono come 1 a 6; e nelle regioni artiche dove i muschi e i licheni che formano l' ordine più basso della creazione vegetale abbondano, la proporzione è come 1 a 2. Le piante annue con uno o due lobi seminali, nelle zone temperate ammontano ad un sesto dell'intero, omettendo le crittogame (N. 218); nella zona torrida esse appena formano una centesima parte, e nella Lapponia una trentesima. Accostandosi all'equatore le piante legnose eccedono il numero dell' erbacee: nell'America vi sono un centoventi specie differenti di piante forestali, mentre nelle stesse latitudini in Europa se ne ritrovano solo 34.

Leggi simili regolano la distribuzione delle piante marine. Alcuni gruppi di alghe o piante marine, amano particolari temperature o zone di latitudine e profondità differenti, sebbene alcuni pochi generi prevalgano in tutto l' oceano. Il bacino atlantico polare al 40° di latitudine nord presenta una vegetazione bene determinata. I mari dell'Indie occidentali che racchiudono il golfo del Messico, le coste orientali dell' America Meridionale, l' oceano Indiano e i suoi golfi, le spiagge della Nuova Olanda e l' isole vicine, hanno ognuno le loro specie distinte. Il Mediterraneo possiede una vegetazione peculiare a sè stesso che si estende fino al Mar Nero, e le specie delle piante marine sulle coste della Siria e nel porto di Alessandria differiscono quasi interamente da quelle di Suez e del Mar Rosso. Si è osservato che i mari di poco fondo hanno una serie differente di piante da quelli che sono più profondi e più freddi, e al contrario della vegetazione terrestre, le alghe sono più numerose nelle latitudini medie

che all' equatore o ai poli. Esse variano ancora con la profondità: specie del tutto differenti amano differenti profondità, i loro semi essendo di tale specifica gravità da rimanere e germogliare dove crebbero le piante madri.

La quantità delle alghe in quella massa detta dei sargassi o mar erboso è così grande, che i primi navigatori Colombo e Lerio lo paragonavano a prati estesamente inondati: i loro vascelli n' erano impediti e intimoriti i marinari. Esso è nell' Atlantico nordico, un poco all' ovest del meridano di Fayal, una delle Azorre, tra il 25° e il 36° parallelo di latitudine. Un piccolo banco giace tra il 22 e il 26 grado di latitudine nord, circa 80 leghe all' ovest del meridiano dell' isola Bahama. Queste masse principalmente consistono di una o due specie di sargasso, genere il più esteso dell' ordine delle Fucoidee.

Alcune di queste alghe marine crescono ad enormi lunghezze, e tutte sono molto colorate, sebbene molte di esse debbano crescere in acqua profonda. La luce peraltro non deve essere il solo principio dal quale dipende il colore dei vegetabili, poichè De Humboldt si è incontrato in piante verdi e crescenti in completa oscurità al fondo d' una delle miniere di Freyberg.

Nelle cavità oscure e tranquille dell' oceano, nelle spiagge alternativamente coperte ed abbandonate dalle onde senza riposo, nelle alte montagne e sopra estesi piani, nelle regioni fredde del nord e nel geniale calore del sud, la diversità specifica è una legge generale del regno vegetale che non può essere attribuita alla diversità di clima, e non di meno la somiglianza, sebbene non l' identità delle specie, è tale sotto le stesse linee isotermiche, che se il numero delle specie che appartengono ad una delle grandi famiglie di piante è nota in una parte del globo, tutto il numero delle fanerogame o piante più perfette ed anche il numero delle specie che compongono le altre famiglie vegetali, può essere calcolato con notabile accuratezza.

Varie opinioni sono state formate sulla distribuzione originale o primitiva delle piante sulla superficie del globo. Ma dopochè la geografia botanica diventò una scienza, i fenomeni osservati hanno condotto alla conclusione, che la creazione vegetale deve avere preso luogo in un numero di centri distintamente differenti, appena le isole ed i continenti sorsero dall'oceano, ognuno dei quali fu la sede originale d'un certo numero di specie peculiari che da prima crebbero quivi e non altrove. Gli scopeti sono esclusivamente confinati al Mondo Antico, e nessun rosaio indigeno è stato ritrovato nel Nuovo, l'intero emisfero meridionale essendo spoglio di questa bella ed odorosissima pianta. Ma questo è sempre più confermato dalle moltitudini di piante particolari che hanno un' esistenza interamente locale ed isolata, crescendo spontaneamente in qualche luogo particolare e non in un altro: per esempio il cedro del Libano il quale cresce indigeno su quella montagna, e in nessuna altra parte del mondo. Dall'altro canto, siccome non può esservi dubbio che molte razze di piante siansi estinte, J. Herschel crede possibile che questi esempi isolati possano essere gli ultimi resti che sopravvivono dei gruppi stessi universalmente disseminati, ma in corso di estinzione, o che forse due processi possono avere esistito nel tempo stesso: « Alcuni gruppi possono essersi sparpagliati dai loro fochi, altri si sono ritirati nelle loro ultime dimore. »

Le leggi stesse sono osservate nella distribuzione della creazione animale. Anche le esistenze microscopiche che sembrano essere le più ampiamente sparse, hanno le loro speciali località; e il zoofito (N. 219) che occupa il gradino più basso nella natura animata, è ampiamente sparso per i mari della zona torrida, ogni specie essendo confinata al distretto e alla profondità più convenevole alla sua esistenza. I molluschi, o animali a conchiglia, decrescono in grandezza ed in bellezza con la distanza dal-

l' equatore, e non solamente ciascun mare e ciascun bacino dell' oceano, ma ciascuna profondità è abitata dalla sua particolare tribù di pesci. Infatti Peron e Le Sueur asseriscono che tra le molte migliaia di animali marini che essi hanno esaminato, un solo animale non vi è delle regioni meridionali che non sia distinguibile per caratteri essenziali dalle analoghe specie dei mari settentrionali.

I rettili sono anch' essi compresi nella legge generale. Le tribù sauriane (N. 220) delle quattro parti del mondo differiscono nelle specie; e sebbene le contrade calde abbondino in serpenti velenosi, questi sono specificamente diversi nelle differenti località e decrescono in numero e in virulenza del loro veleno col decrescere della temperatura. La dispersione degli insetti necessariamente tien dietro a quella dei vegetabili che somministrano loro il nutrimento: e generalmente si è osservato che ogni specie di pianta è popolata da' suoi speciali abitanti. Ogni specie d' uccelli ha il suo parziale ricovero ad onta dei poteri locomotivi delle alate tribù. L' emu è confinato all' Australia, il condor non lascia mai le Ande e i loro declivi, nè le Alpi la grand' aquila; alcuni uccelli hanno un' ampia dimora, come il passero comune; quelli però che s' incontrano in ogni paese, sono pochi in numero. I quadrupedi sono distribuiti nella stessa maniera dovunque non siavisi intromesso l' uomo. Tali, che sono indigeni d' un paese, non sono gli stessi de' loro congeneri in altro; ad eccezione di alcune specie di nottole, nessuno animale mammifero è indigeno nell' arcipelago Polinesiano, nè in alcuna delle isole sui confini della parte centrale del Pacifico.

Nel considerare la varietà infinita di esseri organizzati che popolano la superficie terrestre, nulla è più notevole delle distinzioni che caratterizzano le differenti tribù del genere umano dalla pelle d' ebano della torrida zona, alla bella e vigorosa complessione dello Scan-

dinavo: differenza che esisteva nei tempi della più antica memoria, poichè l'Affricano è rappresentato nelle sacre carte essere stato così nero come lo è adesso, e le più antiche dipinture egiziane confermano questa verità; nondimeno da un confronto delle circostanze principali relative all'economia animale o al fisico carattere delle varie tribù del genere umano si vede che le razze differenti sono identiche in quanto alla specie. Molti tentativi si sono fatti per rintracciare le varie tribù fino ad una origine comune, confrontando i numerosi linguaggi che sono, o sono stati parlati: alcune classi di questi hanno poche o nessuna parola in comune, eppure presentano una notevole analogia nelle leggi della loro costruzione grammaticale. Le lingue parlate dalle nazioni Americane indigene somministrano esempi di queste: in fatto il raffinamento nella costruzione grammaticale delle lingue dei selvaggi americani induce a credere che esse devono originalmente essere state parlate da una classe di uomini molto civilizzata: alcuni linguaggi hanno poca o nessuna somiglianza nella struttura, sebbene essi corrispondano estesamente nei loro vocabolari come i dialetti siriaci. Dall'insieme di questi casi può inferirsi che le nazioni che parlano i linguaggi in discorso sono discese da uno stesso stipite, ma la probabilità di una origine comune è molto maggiore nelle nazioni Indo-Europee, i cui linguaggi come il sanscrito, greco, latino, germanico ec. hanno un'affinità e nella struttura e nella corrispondenza dei vocaboli. In molte lingue non si può trovare la più piccola traccia di rassomiglianza; la lunghezza del tempo peraltro può avervi cancellata la originale identità. Ma tanti secoli sono passati prima che questo diventasse soggetto di studio, e tante lingue sono cadute in disuso, che si può dubitare se si otterrà mai un risultato che soddisfi rispetto alla lingua originale del genere umano.

SEZIONE XXVII.

Calore terrestre — Irradiazione — Trasmissione del calore — Esperimenti del prof. Melloni — Calorico dello Spettro solare — Polarizzazione del calorico — Natura del calorico — Assorbimento — Rugiada — Pioggia — Combustione — Espansione — Compensazione del Pendolo — Trasmissione attraverso il cristallo — Propagazione — Teoria dinamica del calorico — Equivalente meccanico del calorico — Il calorico latente è la forza dell' espansione — Vapore — Lavoro fatto dal calorico — Conservazione della forza — Potere meccanico delle Maree — Potere dinamico della luce — Analogia tra la luce, il calore, e il suono.

Che i raggi i quali producono il calore esistano indipendentemente da quelli della luce è un oggetto di costante esperienza nell' abbondante emissione di essi dal l' acqua bollente. I raggi di calorico si lanciano in linee rette divergenti dalla fiamma e da ogni punto delle superfici de' corpi caldi, nella maniera stessa che i raggi divergenti di luce procedono da ogni punto delle superfici di quelli che sono luminosi. Secondo l' esperienze di Leslie l'irraggiamento procede non solo dalle superficie delle sostanze, ma dalle particelle ancora ad una piccola profondità sotto di essa. Egli ritrovava che l' emissione è più abbondante in una direzione perpendicolare alla superficie raggiante, e che è più rapida da una superficie scabra che da una levigata: l' irraggiamento però solamente può aver luogo nell' aria e nel vuoto: esso è del tutto impercettibile, quando il corpo caldo è rinchiuso in un solido o liquido. Le sostanze calde, se vengono esposte all' aria aperta, continuano ad irraggiare calorico sino a che diventano quasi della temperatura del mezzo circostante. L' irraggiamento è rapidissimo da prima, ma diminuisce secondo una nota legge insieme colla temperatura del corpo riscaldato. È chiaro ancora che il potere raggiante d' una superficie è in ragione inversa del suo

potere riflessivo, e i corpi che sono i più impermeabili al calorico irraggiano meno. Alcune sostanze nondimeno hanno un potere elettivo, solo riflettendo il calore d' una certa refrangibilità. Il signor Grove cita la carta, la neve e la calce come sostanze, le quali, sebbene bianche tutte, irraggiano calore di differente refrangibilità, mentre i metalli di qualsisia colore ne irraggiano di ogni sorta nella stessa maniera.

I raggi calorifici sia che procedano dal sole, dalla fiamma o da altre sorgenti terrestri luminose o no, sono istantaneamente trasmessi attraverso le sostanze solide e liquide, non essendovi differenza apprezzabile nel tempo ch' essi mettono a passare per strati di natura o grossezza qualunque. Passano ancora con la stessa facilità, se i mezzi siano in agitazione o in riposo; e sotto questo rispetto l' analogia tra luce e calorico è perfetta. Il calorico raggiante passa il gas con la stessa facilità che la luce, pure una differenza rimarchevole havvi nella trasmissione della luce e del calorico a traverso parecchie sostanze solide e liquide, essendo spesso lo stesso corpo perfettamente permeabile ai raggi luminosi ed affatto impermeabile ai calorifici. Per esempio, lastre sottili e perfettamente trasparenti di allume e di acido citrico sensibilmente trasmettono tutti i raggi luminosi emessi da una lampada di argand, ma arrestano 8 o 9 decimi del concomitante calorico, mentre un grande pezzo di annerito cristallo di rocca dà libero passaggio al calorico raggiante, ma intercetta quasi tutta la luce. L' allume misto al cristallo verde è ancora capace di trasmettere la luce più brillante, ma non dà la minima indicazione di calore, mentre il sale gemma coperto da un denso strato di caligine in modo da essere perfettamente opaco alla luce, trasmette una notabile quantità di calore. Il signor Melloni ha stabilito la legge generale per le sostanze non cristallizzate tali come il vetro e i liquidi, la quale è che la proprietà di trasmettere istantaneamente è in pro-

porzione ai loro poteri refrattivi. La legge però è interamente in difetto pei corpi di tessitura cristallina. Il carbonato di piombo, per esempio, che è senza colore e possiede un potere refrattivo altissimo rispetto alla luce, trasmette il calorico raggiante meno dello spato d' Islanda o del cristallo di rocca, che sono assai inferiori al primo, quanto a refrangibilità; mentre il sale gemma che ha la stessa trasparenza e lo stesso potere refrattivo dell' allume e dell' acido citrico, trasmette sei od otto volte altrettanto calore. Questa differenza rimarchevole nel potere di trasmissione delle sostanze che hanno la stessa apparenza è dal Melloni attribuita alla forma cristallina, e non alla chimica composizione delle molecole, come dimostrano le seguenti esperienze. Un pezzo di sale comune tagliato in lastre, esclude affatto l'irraggiamento calorifico, nondimeno sciolto nell' acqua accresce il potere trasmissivo di questo liquido: di più, il potere trasmissivo dell' acqua è accresciuto quasi nello stesso grado se il sale o l' allume è disciolto in essa, mentre queste due sostanze trasmettono differentissime quantità di calorico nel loro stato solido. Ad onta della influenza della cristallizzazione sul potere trasmissivo dei corpi, nessun rapporto è stato indicato tra questo potere e la forma cristallina.

La trasmissione del calorico raggiante è analoga a quella della luce a traverso i mezzi colorati. Quando la luce bianca comune passa per un liquido rosso, quasi tutti i raggi più refrangibili e alcuni pochi dei rossi sono intercettati dal primo strato del fluido, minor numero dal secondo, anche meno dal terzo, e così via discorrendo fino a che all' ultimo le perdite diventano piccolissime ed invariabili, e sono solo trasmessi quei raggi che danno il color rosso al liquido. In una maniera simile quando delle lastre della stessa grossezza d' una sostanza come il vetro sono esposte ad una lampada d'argand, una notevole porzione di calorico raggiante è arrestato dalla prima

lastra, una minore dalla seconda, meno ancora dalla terza, e così via via; la quantità del calorico perduto decrescendo fino all' ultimo, la perdita diventa una quantità costante. La trasmissione del calorico raggiante attraverso una massa solida segue la legge stessa. Le perdite sono notevolissime al primo entrarvi, ma rapidamente diminuiscono in proporzione che il calorico penetra più profondamente e diventano costanti ad una certa profondità. In fatto, la sola differenza tra la trasmissione del calorico raggiante attraverso una massa solida o attraverso la stessa massa, quando vien tagliata in lastre di egual grossezza, deriva dalla piccola quantità di calorico che è riflesso alla superficie di queste lastre. Egli è evidente pertanto che il calorico gradatamente perduto non è intercettato alla superficie, ma assorbito nell' interno della sostanza, e che il calorico ch' è passato per uno strato d' aria soffre un assorbimento minore in ognuno degli strati che succedono, e può per questo essere propagato ad una maggiore distanza prima che sia estinto. Gli esperimenti di de Laroche dimostrano che il vetro, quantunque sottile, intercetta totalmente i raggi oscuri del calorico, quando derivino da un corpo la cui temperatura è più bassa che quella dell' acqua bollente: che come la temperatura cresce, i raggi calorifici sono trasmessi sempre più in abbondanza, e che quando il corpo diventa altamente luminoso, essi penetrano il vetro con perfetta facilità. L' estrema lucentezza del sole è probabilmente la ragione, perchè il suo calore quando è portato al fuoco di una lente è più intenso che alcun altro prodotto artificialmente. Si deve alla stessa causa che i parafuochi di vetro che escludono interamente il calore del fuoco comune sono permeabili al calore solare.

I risultati ottenuti da de Laroche sono stati confermati dalle esperienze di Melloni sul calorico raggiante

da sorgenti di diverse temperature; donde si vede che i raggi calorifici passano meno abbondantemente non solo attraverso il vetro ma pel cristallo di rocca, lo spato d'Islanda ed altri corpi diafani solidi e liquidi, secondo che la temperatura della loro origine è diminuita, e che essi sono del tutto intercettati quando la temperatura è circa quella dell'acqua bollente.

Infatti, egli ha provato che il calore emanante dal sole o da una fiamma viva consiste di raggi che differiscono l'uno dall'altro quanto differiscono i raggi coloranti che costituiscono la luce bianca. Questo spiega la ragione della perdita del calore, come esso penetra sempre più profondamente in una massa solida o nel passare attraverso una serie di lastre; perocchè le differenti sorti di raggi che si partono da una viva fiamma sono tutte successivamente estinte dalla natura assorbente della sostanza per la quale esse passano, sino a che solo rimangono quei raggi omogenei che hanno la massima facilità a passare per quella particolare sostanza, esattamente come in un liquido rosso i raggi violetto, azzurro, verde, arancio e giallo sono estinti, ed i raggi rossi sono trasmessi.

Melloni impiegava quattro sorgenti di calore, due delle quali erano luminose e due oscure; cioè una lampada ad olio senza vetro, il platino incandescente, il rame riscaldato a 696° ed un vaso di rame pieno d'acqua alla temperatura di 178° $\frac{1}{2}$ Fahrenheit. Il sale gemma trasmetteva calorico nella proporzione di 92 raggi per 100 da ciascuna di queste sorgenti; ogni altra sostanza pervia al calorico raggiante solida o liquida trasmetteva più calorico dalle sorgenti di alta temperatura che da quelle di bassa. Per esempio: il fluoruro di calce limpido e senza colore trasmetteva nella proporzione di 78 raggi per 100 dalla lampada, 69 dal platino, 42 dal rame e 33 dall'acqua calda; mentre il cristallo di rocca trasparente trasmetteva 38 raggi per 100 dalla lampada, 28

dal platino, 6 dal rame e 9 dall' acqua calda. Il ghiaccio puro trasmetteva solo nella ragione di 6 raggi su 100 dalla lampada ed interamente escludeva quelli delle altre tre sostanze. Di 39 differenti sostanze, 34 erano pervie ai raggi calorifici provenienti dall' acqua calda, 14 escludevano quelli del rame caldo e 4 non trasmettevano quelli del platino.

In questa maniera apparisce che il calorico procedente da queste 4 sorgenti è di diverse specie: questa differenza nella natura de' raggi calorifici è provata pure per mezzo di un altro esperimento che sarà più facilmente inteso per l' analogia colla luce. La luce rossa che emana dal vetro rosso passerà in abbondanza attraverso un altro vetro rosso, ma sarà tutt' assorbita da un verde: i raggi verdi passeranno più prontamente per un mezzo verde che per quello di qualunque altro colore. Questo è vero, rispetto a tutti i colori: così avviene nel calorico. I raggi di calore della stessa intensità che sono passati attraverso differenti sostanze, sono trasmessi in quantità differenti per lo stesso pezzo d' allume, ed alcune volte sono arrestati del tutto, dimostrando che i raggi emananti da differenti sostanze posseggono qualità differenti. Sembra che una fiamma brillante somministri raggi di calorico di tutte le sorte nella stessa maniera che essa dà luce di tutti i colori; e come i mezzi colorati trasmettono alcuni raggi colorati ed assorbono i rimanenti, così i corpi trasmettono alcuni raggi di calore e ne escludono altri. Il sal gemma solo rassomiglia ai mezzi incolori trasparenti nel trasmettere tutte le specie di calorico, anche quello della mano, precisamente come trasmettono la luce bianca che consiste dei raggi di tutti i colori. Il calore raggiante è inegualmente refratto da un prisma di sal gemma come la luce, e i raggi di calore così dispersi ritrovansi possedere proprietà analoghe ai raggi dello spettro colorato.

La proprietà di trasmettere i raggi calorifici diminui-

sce ad un certo grado colla grossezza del corpo da attraversare, ma non tanto, quanto potrebbe aspettarsi. Un pezzo di allume trasparentissimo trasmette tre o quattro volte meno calorico raggiante dalla fiamma d' una lampada, che un pezzo di quarzo opaco quasi altrettanto grosso, di circa un centinaio di volte. Nondimeno l' influenza della grossezza sopra i fenomeni della trasmissione cresce col decrescimento di temperatura nella sorgente dei raggi, e diventa grandissima quando questa temperatura è bassa. Questa è una circostanza intimamente connessa con la legge stabilita da de Laroche; perocchè Melloni osservò che la differenza tra le quantità di calorico trasmesse attraverso la stessa lamina di vetro esposta successivamente a parecchie sorgenti di calore diminuisce colla sottigliezza della lamina, e svanisce affatto ad un certo limite; e che una pellicola di mica trasmette la stessa quantità di calorico, o sia esposta al platino incandescente o ad una massa di ferro riscaldato a 360°.

I vetri colorati trasmettono raggi di luce di certi gradi di refrangibilità, ed assorbiscono quelli di altri gradi; per esempio, il vetro rosso assorbisce i raggi i più refrangibili e trasmette i rossi che sono i meno refrangibili. Al contrario il vetro violetto assorbisce i meno refrangibili e trasmette i violetti che sono i più refrangibili. Ora Melloni ha ritrovato che sebbene la materia colorante del vetro diminuisca il suo potere di trasmettere il calorico, pure i vetri rossi, aranci, gialli, azzurri, violetti e bianchi trasmettono i raggi calorifici d' ogni grado di refrangibilità, mentre che il vetro verde possiede la proprietà peculiare di trasmettere i raggi calorifici meno refrangibili e di fermare quelli che sono i più refrangibili. Esso ha pertanto la stessa azione elettiva pel calorico che il vetro colorato ha per la luce, e la sua azione sul calorico è analoga a quella del vetro rosso sulla luce. L' allume ed il solfato di calce sono

esattamente opposti al vetro verde nella loro azione sul calorico, trasmettendo i raggi i più refrangibili colla massima facilità.

Il calorico che è già passato attraverso il vetro verde o nero non passerà per l'allume, mentre quello che ha attraversato i vetri di altri colori lo attraversa prontamente.

Rovesciando l'esperimento ed esponendo differenti sostanze al calorico ch'è già passato per l'allume, il Melloni trovò che il calore che emerge dall'allume è quasi totalmente intercettato dalle sostanze opache ed è abbondantemente trasmesso da tutte quelle che sono trasparenti ed incolori, e che non soffre perdita apprezzabile quando la grossezza della lamina è variata dentro certi limiti. Le proprietà del calorico emesso dall'allume s'accostano da vicino a quelle della luce e del calore solare.

Il calorico raggiante traversando diversi mezzi è non solo reso più o meno capace d'essere trasmesso una seconda volta, ma secondo gli esperimenti del prof. Powell, diventa più o meno suscettibile di essere assorbito in quantità differenti dalle superfici nere o bianche. Melloni ha provato che il calore solare contiene dei raggi che sono modificati da sostanze diverse nella stessa maniera come se il calore procedesse da una sorgente terrestre, quindi conclude che la differenza osservata tra la trasmissione del calore terrestre e solare deriva dalle circostanze del calore solare, che contiene ogni specie di calorico, mentre nelle altre sorgenti alcune specie mancano.

Il calorico raggiante da sorgenti di qualsiasi temperatura è soggetto alle stesse leggi di reflessione e refrazione come i raggi luminosi. L'indice di refrazione da un prisma di sal gemma determinato esperimentalmente è quasi lo stesso per la luce e pel calore.

I liquidi, le varie qualità di vetri e probabilmente

tutte le sostanze solide o liquide che non cristallizzano regolarmente, sono più pervie ai raggi calorifici secondo che posseggono un maggior potere refrattivo. Per esempio, il cloruro di zolfo, che possiede un alto potere rifrattivo, trasmette più raggi calorifici che gli olii che hanno un potere meno refrattivo: gli olii trasmettono più calore raggiante che gli acidi: questi più che le soluzioni acquose, e queste più che l' acqua pura, la quale di tutta la serie ha il minor potere refrattivo ed è la meno pervia al calorico. Melloni osservò ancora che ogni raggio dello spettro solare segue la stessa legge di azione che quella dei raggi terrestri che hanno la loro origine in sorgenti di differenti temperature, cosicchè i raggi refrangibilissimi possono essere paragonati al calore che emana da un fuoco di alta temperatura; e i meno refrangibili, al calore che deriva da una sorgente di bassa temperatura. Così, se i raggi calorifici che emergono da un prisma siano fatti passare per uno strato d' acqua che contiensi fra due lastre di vetro, si ritroverà che questi raggi soffrono una perdita nel passare per il liquido, tanto maggiore quanto la loro refrangibilità è minore. I raggi di calore che sono misti alla luce azzurra o violetta passano in grande abbondanza, mentre quelli della parte oscura che segue la luce rossa, sono quasi totalmente intercettati. I primi, per questo, agiscono come il calore di una lampada, e gli ultimi come quello dell' acqua bollente.

Queste circostanze spiegano i fenomeni osservati da parecchi fisici rispetto al punto del massimo calore dello spettro solare, che varia con la sostanza del prisma. W. Herschel che adoperò un prisma di *flint-glass* ritrovava quel punto essere un poco al di là dell' estremità rossa dello spettro, ma secondo Seebeck si è ritrovato essere nel giallo, nell' arancio, nel rosso o nel limite oscuro del rosso, secondo che il prisma consiste d' acqua, acido solforico, *crown* o *flint-glass*. Si è notato che

nello spettro del *crown-glass* il massimo calore è nella parte rossa e che i raggi solari nel traversare una massa di acqua soffrono perdite in ragione inversa alla loro refrangibilità; sarà facile capire la ragione del fenomeno in discorso. Il calore solare che viene dalla faccia esteriore del prisma di acqua consiste di raggi d'ogni grado di refrangibilità: ora i raggi che posseggono l'indice stesso di refrazione colla luce rossa, soffrono una perdita maggiore nel passare pel prisma, che i raggi che posseggono la refrangibilità della luce arancia, e gli ultimi perdono meno nel loro passaggio che il calore del giallo. Così le perdite essendo proporzionali in ragione inversa ai gradi di refrangibilità di ogni raggio, sono cagione che il punto del massimo calore tenda dal rosso al violetto, e per questo resti sopra la parte gialla. Il prisma d'acido solforico che agisce similmente ma con minore energia che quello d'acqua, spinge il punto del massimo calore sull'arancio; per la stessa ragione i prismi di *crown* e *flint-glass* trasportano quel punto respettivamente al rosso e al suo limite. Melloni osservandò che il massimo punto di calore è trasportato sempre più lontano verso la estremità rossa dello spettro secondo che la sostanza del prisma è più e più permeabile al calore, inferisce che un prisma di sal gemma che possiede un maggior potere di trasmettere i raggi calorifici che alcun corpo conosciuto, deve spingere il punto del massimo calore ad una considerevole distanza al di là della parte visibile dello spettro; anticipazione che l'esperienza ha pienamente confermato, mettendolo tanto al di là dei limiti oscuri dei raggi rossi, quanto la parte rossa è distante dalla fascia verde-turchiniccia dello spettro. In tutti questi esperimenti Melloni adoperava un termometro moltiplicatore, istrumento che misura l'intensità del calore trasmesso con una accuratezza molto al di là di quello che abbia mai raggiunto alcun altro termometro. Esso è un' elegantissima applicazione della

scoperta di Seebeck sulla termo-elettricità, ma la descrizione di questo stromento è riservata per una futura occasione, poichè il principio sul quale è costrutto, non è stato ancora da noi spiegato.

Nel principio del secolo presente, non molto dopo che Malus ebbe scoperta la polarizzazione della luce, egli e Berard provarono che il calorico che accompagna la luce solare è capace di essere polarizzato, ma i loro tentativi totalmente mancarono d'effetto pel calorico derivato dalle sorgenti terrestri e specialmente non luminose. Berard in vero immaginò d'esservi riuscito, ma quando i suoi esperimenti furono ripetuti da Lloyd e da Powell non si poterono ottenere soddisfacenti risultati. Melloni ha riassunto il soggetto e ha procurato di effettuare la polarizzazione del calorico per mezzo della tormalina come nel caso nella luce. Fu già dimostrato che due lamine sottili di tormalina tagliate parallelamente all'asse del cristallo trasmettono una grande quantità della luce incidente, quando vi si guarda a traverso coi loro assi paralleli, e quasi intera la escludono, quando questi sono perpendicolari l'uno all'altro. Se il calorico raggiante fosse capace di polarizzazione, la quantità trasmessa per le lamine di tormalina nella loro prima posizione, dovrebbe eccedere di molto quello che passa loro attraverso nella seconda; eppure Melloni trovò che la quantità di calorico era la stessa in ambedue i casi. Quindi inferiva che il calorico d'una sorgente terrestre è incapace di essere polarizzata. Il prof. Forbes di Edinburgo che ha continuato lo stesso soggetto con grande acutezza e successo, venne alla conclusione medesima nella prima prova, ma gli accadde che come i pezzi di tormalina diventavano riscaldati, per essere vicinissimi alla lampada, l'irraggiamento loro secondario rendeva impercettibile la piccolissima differenza nel calore trasmesso nelle due posizioni dei pezzi di tormalina. Nondimeno Forbes riusciva a provare per mezzo di numerose osservazioni che il

calorico di varie sorgenti si polarizzava per la tormalina, ma che questo effetto era piccolissimo e difficile a percepirsi col calore non luminoso a motivo dell' irraggiamento secondario. Sebbene la luce sia quasi interamente esclusa in una posizione della tormalina e trasmessa in un'altra, una grande quantità di calorico raggiante passa per esse in tutte le posizioni. Ottantaquattro per 100 del calorico di una lampada d'argand passava per la tormalina nel caso dove la luce era totalmente fermata. È solo la differenza nella quantità del calorico trasmesso che somministra la prova della sua polarizzazione. La seconda lastra di tormalina, quando è perpendicolare alla prima, ferma tutta la luce, ma trasmette una gran parte di calorico; l'allume al contrario ferma quasi tutto il calorico e trasmette la luce, quindi si può concludere che il calorico, sebbene intimamente partecipe della natura della luce e che la accompagna in certe circostanze come nella riflessione e nella rifrazione, è capace d' una quasi completa separazione in altre. La separazione è stata da poi perfettamente eseguita da Melloni, facendo passare un raggio di luce per una combinazione d'acqua e di vetro verde colorati dall' ossido di rame. Anche quando la luce trasmessa fu concentrata da lenti in modo da renderla quasi così brillante come la luce diretta del sole, essa non mostrò sensibile calore.

Forbes in seguito adoperò due fasci di lamine di mica situate all' angolo polarizzante e tagliate in modo che il piano d' incidenza del calorico corrispondesse con uno degli assi ottici di questo minerale. Il calorico trasmesso per quest' apparecchio fu polarizzato da una sorgente la cui temperatura era bassa 200 gradi. Il calorico fu pure polarizzato per riflessione, ma gli esperimenti sebbene perfettamente riusciti, sono molto difficili ad eseguirsi.

È chiaro dai vari esperimenti di Melloni e Forbes che tutti i raggi calorifici emanati dal sole e dalle

sorgenti terrestri sono egualmente capaci di essere polarizzati per riflessione e per refrazione, sia doppia sia semplice, e che essi sono anche capaci di polarizzazione circolare col mezzo di tutti i metodi impiegati nella polarizzazione circolare della luce. Le lastre di quarzo tagliate ad angoli retti all' asse del prisma posseggono la proprietà di far girare i raggi calorifici in una direzione, mentre altre lamine della sostanza stessa tolte da un prisma differentemente modificato fanno che i raggi ruotino nella direzione contraria, e due lamine insieme combinate, se sono differentemente modificate e di eguale grossezza, contraggono l'una gli effetti dell' altra, come nel caso della luce. La tormalina separa il calorico in due parti, una delle quali viene assorbita, e trasmessa l'altra: in breve la trasmissione del calorico raggiante è precisamente simile a quella della luce. Poichè il calorico è polarizzato nella stessa maniera che la luce, si può credere che il calorico polarizzato trasmesso attraverso sostanze che doppiamente rifrangono, sia separato in due raggi polarizzati in un piano ad angoli retti l' uno all' altro, e che quando sono ricevuti sopra una lastra analizzatrice, essi s'interferiscono e producono fenomeni invisibili perfettamente analoghi a quelli descritti nella Sezione XXII rispetto alla luce (N. 221).

Fu dimostrato nella stessa Sezione che se la luce polarizzata per riflessione da un pezzo di vetro sia veduta a traverso una lastra di tormalina con la sua sezione longitudinale verticale, una nube oscura, col suo centro perfettamente nero, è veduta sopra il vetro. Quando adunque una lastra di mica di circa la 30ma parte di pollice in grossezza, è frapposta alla tormalina ed al vetro, la macchia scura svanisce ed una successione di colori splendidissimi sono veduti, e come la mica è girata attorno, in un piano perpendicolare al raggio polarizzato, la luce è fermata, quando il piano che contiene l' asse ottico della mica

è parallelo o perpendicolare al piano di polarizzazione. Ora invece della luce, se il calorico di una sorgente non luminosa sia polarizzato nella maniera descritta, esso deve essere trasmesso e fermato per l' interposta mica sotto le stesse circostanze sotto le quali la luce polarizzata sarebbe trasmessa o fermata. Forbes ha ritrovato che questo è realmente il caso, abbia egli adoperato calorico di sorgenti luminose o no : ed egli ebbe pure la prova della polarizzazione circolare ed elittica del calorico. Ne segue per tanto che se il calorico fosse visibile, nelle circostanze simili noi vedremmo figure perfettamente simili a quelle date nella nota 213 e seguenti, e come quelle figure sono formate dalle interferenze delle ondulazioni della luce, se ne può inferire che il calorico è propagato similmente alla luce per mezzo di ondulazioni del mezzo etereo, che si interferiscono sotto certe condizioni e producono figure analoghe a quelle della luce. È manifesto ancora dagli esperimenti di Forbes che le ondulazioni del calorico sono più lunghe delle ondulazioni della luce, ed è già stato detto che Draper le considera normali come le sonore.

Che luce e calore siano vibrazioni del mezzo etereo non è men vero rispetto ai raggi del calore, anche quando sono invisibili, perchè la condizione della visibilità o invisibilità può solo dipendere dalla costruzione degli occhi nostri e non dalla natura dell' agente che produce queste sensazioni in noi. Il senso del vedere può essere confinato dentro certi limiti. I raggi chimici al di là del violetto estremo dello spettro possono essere troppo rapidi o non abbastanza scorrevoli nelle loro vibrazioni per essere visibili all' occhio umano, ed i raggi calorifici al di là dell'altra estremità dello spettro possono essere non abbastanza rapidi o troppo estesi nelle loro ondulazioni in modo da impressionare i nostri nervi ottici, sebbene gli uni e gli altri possano essere visibili ad alcuni animali od insetti. Noi siamo del tutto ignari delle percezioni che diri-

gono il piccione corriere al suo nido, o di quelle che avvengono agli insetti per mezzo delle antenne, percezioni che li avvertono dell'avvicinarsi del pericolo: nè noi possiamo percepire la vista telescopica che dirige l'avoltoio sulla sua preda prima che sia visibile anche come una macchia aerea nel cielo. Così verosimilmente vi possono esistere degli esseri sulla terra, nell'aria e nell'acque che ascoltino dei suoni che le nostre orecchie sono incapaci di udire, e che veggano raggi di luce e di calorico che sono ignoti a noi. Le nostre percezioni e facoltà sono limitate ad una piccolissima porzione di quella immensa catena dell'esistenza che si estende dal creatore al *nulla.*

L'identità d'azione sotto circostanze simili è uno de' più forti argomenti in favore della natura comune de' raggi chimici, visibili e calorifici. Tutti sono capaci di riflessione dalle superfici levigate, di rifrazione a traverso lo sostanze diafane, di polarizzazione per riflessione e pei cristalli birefrangenti: la loro velocità è prodigiosa: possono essere concentrati e dispersi dagli specchi convessi e concavi, passano con eguale velocità a traverso il sale gemma, e sono capaci di irraggiamento: i raggi chimici sono soggetti alle stesse leggi d'interferenza come i luminosi, quindi non vi può esser dubbio che tutto l'insieme dei raggi visibili ed invisibili che costituiscono un raggio solare, sieno propagati dalle ondulazioni di un etere medio, e conseguentemente come moti possono sottostare alle stesse leggi dell'analisi.

Quando il calorico raggiante cade sopra una superficie, parte di esso è riflessa e parte è assorbita: per conseguenza i migliori riflettori posseggono i poteri meno assorbenti. La temperatura dei fluidi molto trasparenti non è innalzata pel passaggio dei raggi solari, perchè essi non ne assorbiscono alcuno, e siccome il calore del sole è intensissimo, i solidi trasparenti arrestano una piccolis-

sima porzione di essi. L'assorbimento dei raggi solari è la cagione del colore e della temperatura dei corpi solidi. Una sostanza nera assorbe tutti i raggi luminosi e non ne riflette alcuno, e poichè essa assorbe nel tempo stesso i raggi calorifici tutti, diventa più presto calda ed arriva ad una più alta temperatura che i corpi d' alcun altro colore. I corpi azzurri vengono d' appresso ai neri nel potere di assorbimento. E poichè le sostanze di color azzurro assorbono tutti gli altri colori dello spettro, esse assorbono la parte maggiore dei raggi calorifici, e riflettono gli azzurri dove questi si ritrovano al minimo. Quindi per ordine vengono i verdi, i gialli, i rossi, e ultimi di tutti i corpi bianchi, che riflettono quasi tutti i raggi di luce e di calore. Se non che vi sono certi mezzi limpidi ed incolori che in qualche caso, mentre in altri lo trasmettono e non soffrono alcun cangiamento di temperatura, intercettano l' irraggiamento calorifico e diventano caldi.

Tutte le sostanze possono essere considerate come raggianti il calorico, qualunque esser possa la loro temperatura, sebbene con intensità differente secondo la loro natura, lo stato delle superfici e la temperatura del mezzo nel quale esse sono portate. Ma ogni superficie assorbe egualmente come irraggia il calorico, ed il potere assorbente è sempre eguale al potere irraggiante: perocchè sotto le stesse circostanze la materia che presto si riscalda presto si raffredda ancora. Vi è una costante tendenza ad una eguale diffusione di calorico, poichè ogni corpo in natura dà e riceve calorico nel tempo stesso: ognuno sarà di uniforme temperatura, quando la quantità di calorico dato e ricevuto durante lo stesso tempo sono eguali, cioè quando una perfetta compensazione ha luogo tra ciascuno e tutto il resto. Le nostre sensazioni solo misurano i gradi comparativi di calore; quando un corpo come il ghiaccio comparisce freddo, esso imparte meno raggi calorifici di quello che ne rice-

va, e quando una sostanza sembra essere calda, per esempio il fuoco, dà più calorico che non ne riceva.

I fenomeni della rugiada e della brina sono dovuti alla disuguaglianza di scambio: il calorico irraggiato durante la notte dalle sostanze che sono sulla superficie della terra in una chiara estensione di firmamento è perduto per noi, e nessuna restituzione vien fatta dalla volta azzurra; così che la temperatura di quelle s' abbassa al disotto di quella dell' aria, quindi esse astraggono una parte di quel calorico che tiene in soluzione l' atmosferica umidità, ed ha luogo una deposizione di rugiada. Se l' irraggiamento è grande, la rugiada gela e diventa brina, che è il gelo della rugiada. Il tempo nuvoloso è sfavorevole alla formazione della rugiada, opponendosi al libero irraggiamento del calorico, ed un contatto reale si richiede per la deposizione della stessa, poichè essa non mai è sospesa nell' aria come la nebbia. Le piante prendono una gran parte del loro nutrimento da questa sorgente; e siccome ognuna possiede un potere di irraggiamento peculiare all' individuo, esse possono procurarsi un sufficiente supplemento pei loro bisogni. L' azione dei raggi chimici impartisce a tutte le sostanze più o meno il potere di condensare i vapori sopra quelle parti sulle quali questi cadono, e per questo devono avere una notevole influenza sulla deposizione della rugiada. Vi può essere un grado basso d' umidità nell' aria, che non di meno può contenere una grande quantità di vapore acquoso, perchè il vapore mentre esiste come gas è asciutto. La temperatura alla quale l' atmosfera non può contenere più vapore senza precipitazione è chiamato il punto della rugiada ed è misurato con l' igrometro. Nel predire i cambiamenti del tempo, è appena inferiore al barometro.

Il vapore è formato a traverso l' intera massa d' un liquido bollente, mentre l' evaporazione accade solo alla libera superficie dei liquidi, e questo sotto l' ordinaria

temperatura e pressione dell' atmosfera. Vi è una costante evaporazione dalla terra e dall' acqua sopra tutto il globo. La rapidità della formazione non dipende interamente dalla secchezza dell' aria: secondo gli esperimenti del dottor Dalton dipende ancora dalla differenza tra la tensione del vapore che si va formando, e quello che è già nell' atmosfera. Nel tempo calmo il vapore s' ammassa nello strato d' aria immediatamente sopra alla superficie evaporante, e ritarda la formazione del resto, mentre un vento forte ne accelera il processo, portando via il vapore appena s' alza e facendo strada ad una successiva porzione di aria asciutta.

La pioggia è formata per la mescolanza di due masse d' aria di temperatura differente: la parte più fredda togliendo all' altra il calorico che la tiene in soluzione, obbliga alle particelle d' accostarsi l' una all' altra e formare gocciole d' acqua che diventando troppo pesanti per essere sostenute dall' atmosfera, cadono a terra per forza della gravitazione in forma di pioggia. Il contatto di due strati d' aria di temperature differenti muovendosi rapidamente in opposte direzioni produce un' abbondante precipitazione di pioggia. Quando le masse d' aria differiscono moltissimo in temperatura e s' incontrano d' un subito, si forma la grandine. Questo accade di frequente nei piani caldi vicino alla sommità dei monti, come al sud della Francia, dall' improvvisa discesa di una corrente intensamente fredda di vento in una massa d' aria quasi satura di vapore. Questa ancora è la causa delle terribili tempeste di grandine che talvolta succedono nelle estese pianure fra i tropici.

Un' accumulazione di calore produce invariabilmente luce; all' eccezione dei gas, tutti i corpi che possono sostenere i gradi richiesti di calore senza scomporsi, cominciano a mandare luce alla stessa temperatura; ma quando la quantità di calorico è tanta da rendere l' affinità delle loro particelle componenti, minore che la loro affinità

per l' ossigeno dell' atmosfera, una combinazione chimica ha luogo col detto ossigeno, e sono sviluppati luce e calore e si produce del fuoco. La combustione, così essenziale per i nostri comodi e per l' esistenza ancora, accade facilissimamente per cagione della poca affinità tra le parti componenti l' aria atmosferica, essendovi l' ossigeno quasi in libero stato; ma siccome la forza coesiva delle particelle di sostanze differenti è variabilissima, differenti gradi di calore sono richiesti per produrre la loro combustione. La tendenza del calorico ad uno stato di eguale diffusione o equilibrio, sia per irraggiamento sia per contatto, rende necessario che la combinazione chimica che cagiona la combustione, abbia luogo istantaneamente, perchè se il calore fosse sviluppato progressivamente, sarebbe pure dissipato per gradi, e non si accumulerebbe mai abbastanza per produrre una temperatura sufficiente da svolgere la fiamma.

È legge generale che tutti i corpi si espandono pel calorico e si contraggono pel freddo. La forza espansiva del calorico ha una costante tendenza a superare l' attrazione di coesione e a separare le particelle costituenti i solidi e i fluidi; per questa separazione l' attrazione d' aggregamento è sempre più indebolita sino a che all' ultimo è vinta affatto od anche cangiata in ripulsione. Per la continua addizione di calorico i solidi possono essere convertiti in liquidi, e da liquidi allo stato aeriforme, crescendo la dilatazione colla temperatura. Ogni sostanza si dilata secondo una legge sua propria. I gas si dilatano più che i liquidi, e i liquidi più dei solidi: la dilatazione dell' aria è più di 8 volte maggiore di quella dell' acqua, e l' aumento nel volume dell' acqua è 45 volte maggiore almeno che quello del ferro. I metalli si dilatano uniformemente dal punto di congelazione fino a quello d' ebullizione: l' uniforme espansione dei gas si estende tra limiti sempre più vasti, ma siccome la liquidità è uno stato di transizione dal solido all' aerifor-

me la dilatazione equabile dei liquidi non ha un corso così esteso. Questo cambiamento di volume, che corrisponde alla variazione del calorico, è uno dei più importanti fra i suoi effetti, poichè fornisce i mezzi di misurare le relative temperature per mezzo del termometro e del pirometro. La ragione di espansione dei solidi varia al loro passaggio in liquidi, e quella dei liquidi non è più equabile quando sono presso al loro cambiamento allo stato aeriforme. Vi sono nondimeno dell' eccezioni alle leggi generali dell' espansione. Alcuni liquidi hanno un massimo di densità corrispondente ad una certa temperatura, e dilatansi sia che la temperatura sia cresciuta o diminuita ; per esempio, l' acqua dilatasi o sia riscaldata al di sopra o raffreddata al di sotto di 40° Fahr.; la solidificazione di alcuni liquidi e specialmente la loro cristallizzazione è sempre accompagnata da un aumento di volume. L'acqua dilatasi rapidamente, quando è convertita in ghiaccio e con una forza sufficiente a fendere le più dure sostanze. La formazione del ghiaccio è per questo un agente potente della disorganizzazione e decomposizione delle roccie, operando come una delle cause le più efficaci dei cangiamenti locali nella struttura della crosta terrestre; di che noi abbiamo esperienza nei tremendi scoscendimenti delle montagne elvetiche. Ma il professor Thomson ha provato esperimentalmente che si richiede una più bassa temperatura per gelare l' acqua sotto la pressione, che quando la dilatazione è libera.

La dilatazione delle sostanze pel calore, e la loro contrazione pel freddo, producono ancora tali irregolarità nell' esattezza degli orologi e dei pendoli da renderli inetti agli astronomici e nautici bisogni, se non vi si praticasse una bellissima applicazione delle leggi della disuguale dilatazione. Le oscillazioni di un pendolo sono le stesse come se tutta la sua massa fosse unita in una particella densa in un certo punto della sua lunghezza chiamato il centro di oscillazione. Se la di-

stanza di questo punto da quello a cui è sospeso il pendolo fosse invariabile, il moto dell' orologio sarebbe pure invariabile. La difficoltà consiste nel neutralizzare gli effetti della temperatura che sempre aumenta o diminuisce la sua lunghezza. Tra molte invenzioni il pendolo di compensazione di Graham è la più semplice. Egli impiegò un tubo di vetro che conteneva del mercurio. Quando il tubo si dilata per l' effetto del calore, il mercurio si dilata molto più, così che la sua superficie s' innalza un poco più di quella che l' estremità del pendolo si abbassi, ed il centro di oscillazione rimane stazionario. Harrison inventò un pendolo che si compone di sette sbarre d'acciaio e di rame, unite in forma di graticola, di modo che se pel cangiamento di temperatura le sbarre di rame aumentano il peso all' estremità del pendolo, le sbarre d'acciaio si abbassano di altrettanto. In generale solo cinque sbarre si usano, tre d' acciaio, e due d' una mistura d' argento e zinco. Gli effetti della temperatura sono neutralizzati nei cronometri dietro lo stesso principio, e sono stati portati a tale perfezione che la perdita o il guadagno d' un secondo in 24 ore per due giorni consecutivi li renderebbe inutili per la pratica. L'accuratezza delle misure geodetiche dipende dalle verghe di compensazione impiegate nel misurare le basi. Così le leggi della dilatazione disuguale della materia, giudiziosamente applicate, hanno un' immediata influenza sulla misura del tempo, dei moti de' corpi nel cielo e della loro caduta sulla terra, sulla nostra determinazione della figura della terra, e sul nostro sistema di pesi e misure, sul nostro commercio all' estero, e la misura delle nostre terre all' interno.

La dilatazione delle sostanze cristallizzate ha luogo sotto circostanze differenti dalla dilatazione di quelle che non sono cristallizzate. Queste diventano più lunghe e più grosse pel calore aggiunto, mentre Mitscherlich ha ritrovato che le prime si dilatano differentemente in

direzioni diverse, e in un particolare esempio l'estensione in una direzione è accompagnata dalla contrazione nell' altra; per esempio, lo spato d'Islanda si dilata nella direzione dei suoi assi di doppia riflessione (N. 205), ma ad angoli retti a quell' asse esso è contratto; il che porta il cristallo più vicino alla forma del cubo e diminuisce il suo doppio poter rifrattivo. Quando il calore è applicato ai cristalli di solfato di calce, i due assi ottici (N. 207) gradualmente s' accostano e alla fine coincidono: cresciuto il calore, gli assi si riaprono, ma in una direzione ad angoli retti alla loro prima posizione. Dietro alcuni esperimenti, Senarmont ha concluso che in mezzi costituiti come i cristalli del sistema romboidale (N 169), il potere conduttore varia in tale maniera che, supposto un centro di calore esista in mezzo ad essi, e il medio sia esteso indefinitamente in ogni direzione, le superfici isotermiche sono elissoidi concentriche di rivoluzione attorno gli assi simmetrici, o almeno superfici differenti un poco da quelle. La struttura interna della materia cristallizzata deve essere specialissima in modo da modificare il potere espansivo del calore.

Il calore applicato alla superficie di un fluido è propagato verso la parte inferiore debolissimamente, gli strati più caldi e per conseguenza più leggeri sempre rimanendo alla cima. Questa è la ragione per cui l' acqua al fondo dei laghi nutriti dalle catene alpine è così fredda, in quanto che il calore del sole è trasfuso solo per piccolo tratto al di sotto della superficie. Quando il calore è applicato al disotto d' un liquido, le particelle continuamente s' elevano via via che diventano specificamente più leggiere in conseguenza del calorico, e lo diffondono in mezzo alla massa, essendo il loro luogo continuamente occupato da quelle che sono più dense. Il potere di condurre il calorico varia secondo la materia dei differenti liquidi. Il mercurio conduce due volte così presto che un eguale volume d'acqua; questa è la cagione perchè esso com-

parisce così freddo. Un corpo caldo diffonde il suo calorico nell' aria per un doppio processo. L' aria in contatto col corpo caldo essendo riscaldata e divenendo più leggera, ascende e diffonde il proprio calorico per trasmissione, mentre al tempo stesso un' altra porzione n' è diffusa in linea retta pei poteri irraggianti della superficie. Quindi una sostanza si raffredda più rapidamente nell' aria che nel vuoto; perchè in questo ultimo caso il processo succede pel solo irraggiamento. È probabile che la terra essendo stata originariamente di temperatura altissima siasi fatta più fredda per solo irraggiamento, il mezzo etereo essendo troppo rarefatto per portare via molto calore per contatto.

Il calorico è propagato più o meno rapidamente a traverso tutti i corpi : l' aria è il conduttore peggiore, e per conseguenza mitiga l' asprezza dei climi freddi, conservando il calore impartito alla terra dal sole. Al contrario i corpi densi, specialmente i metalli, posseggono il potere di condurre nel massimo grado, ma la trasmissione richiede tempo. Se una verga di ferro lunga 20 pollici sia riscaldata ad un' estremità, il calorico mette 4 minuti per passare all' altra. La particella del metallo, la prima riscaldata, comunica il suo calorico alla seconda, e questa alla terza, così che la temperatura della molecola intermedia, ad ogni istante è accresciuta per l' eccesso della temperatura dalla prima sopra la sua propria, e diminuita per l' eccesso della sua propria temperatura su quella della terza. Questa nondimeno non sarà la temperatura indicata dal termometro, perchè appena la particella è più calda della circostante atmosfera, essa perde il suo calorico per irraggiamento in proporzione dell' eccesso della sua attuale temperatura sopra quella dell' aria. La velocità della perdita è direttamente proporzionale alla temperatura ed inversamente alla lunghezza della sbarra. Siccome vi sono continue variazioni nella temperatura di tutte le sostanze terrestri

e dell' atmosfera per la rotazione della terra e per la rivoluzione attorno il sole, per la combustione, confricazione, fermentazione, elettricità, e per un'infinità di altre cagioni, la tendenza a ristabilire l'eguaglianza di temperatura per la trasmissione del calorico, deve mantenere tutte le particelle materiali in uno stato di continua oscillazione, che sarà più o meno rapida, secondo i poteri conduttori delle sostanze. Dal moto dei corpi celesti, intorno ai loro assi, ed anche intorno al sole, che gli espone a continui cangiamenti di temperatura, si può inferire che cause simili produrranno simili effetti in essi pure. Le rivoluzioni delle stelle doppie, dimostrano che non sono in quiete; e sebbene noi siamo totalmente ignari dei cangiamenti che possono accadere nelle nebulose, e in milioni d' altri corpi lontani, è appena possibile, ch' essi siano in assoluto riposo, così che, per quanto si estende la nostra conoscenza, il moto sembra essere una legge dell' universo, e la causa immediata del calore, come nel raggio solare, così ancora in tutti i fenomeni terrestri.

Questo non è affatto ipotetico, ma fondato sopra fatti ed esperimenti. Il calore è prodotto dal moto, e gli è equivalente, perocchè noi misuriamo il calore col moto nel termometro. Il calore svolto da una percossa è proporzionale alla forza del colpo: i colpi ripetuti fanno diventare caldo il ferro, e la quantità di calore prodotta dalla confricazione, sia la materia solida o fluida, è sempre in proporzione alla forza impiegatavi: nella fredda stagione noi ci freghiamo le mani onde riscaldarle, e più forza vi adoperiamo, più esse diventano calde. Il caldo del mare dopo una burrasca è in proporzione della forza del vento, e nell' esperimento di H. Davy di liquefare il ghiaccio colla confricazione nel recipiente d' una macchina pneumatica tenuta al punto di congelazione, il calore che liquefaceva il ghiaccio era esattamente proporzionale alla forza dello sfregamento. Questo esperimento prova l' immaterialità

del calore, poichè la capacità del ghiaccio per il calore è minore di quella che ha l'acqua. Così l'azione meccanica e il calore sono equivalenti l'uno all'altro. Joule di Manchester[1] ha provato che la quantità di calore richiesta per alzare la temperatura d'una libbra d'acqua di un grado del termometro di Fahrenheit è equivalente alla forza meccanica sviluppata colla caduta d'un corpo di libbre 772·69 dalla altezza perpendicolare di un piede. Questa quantità è l'equivalente meccanico del calore. Così calore è moto, ed è misurato dalla forza. In fatti per ogni unità di forza spesa nella confricazione o nella percussione, una quantità definita di calore è generata; e al contrario, quando il lavoro è fatto per mezzo della consumazione di calore, per ogni unità di forza guadagnata, una unità di calore è sparita. Perchè, se il calore è una forza dinamica di effetto meccanico, vi deve essere un equivalente tra il lavoro meccanico e il calore, come fra causa ed effetto (N. 222).

Oltre la temperatura indicata del termometro, i corpi assorbiscono il calore, e la loro capacità pel calore è così varia, che differentissime quantità di calore sono richieste onde alzare sostanze differenti alla stessa sensibile temperatura. È per ciò evidente che molto calore è assorbito, e diventa insensibile al termometro. Quella porzione di calore richiesta per alzare un corpo ad una data temperatura, è il suo calore specifico, ma il calore latente o assorbito diventa una forza espansiva, ossia una energia, la quale agendo sull'etere che circonda le ultime particelle dei corpi, li cangia da solidi in liquidi, e da liquidi in vapori o gas. Secondo la legge dell'assorbimento, il trasferimento del calore da un corpo

---

[1] Questa teoria del calore e del moto fu trovata dal signor Joule di Manchester, il quale l'ha sostenuta con moltissimo ingegno, tanto per mezzo dell'esperimento, quanto per l'analisi, ed ebbe un patrocinatore valente nel professor Thomson di Glascovia.

caldo ad uno freddo, è un puro trasporto di forza, nel quale la forza di compressione è esattamente proporzionale a quella di espansione. Il ghiaccio rimane alla temperatura di 32° Fahrenheit sino a che esso abbia assorbito 140° di calore, e allora si liquefa, ma senza alzare la temperatura dell' acqua sopra 32°. Al contrario quando un liquido è mutato in un solido, una quantità di calore lo lascia senza diminuzione di temperatura. Così l' acqua a 32° deve cedere 140° di calore avanti che geli. La lentezza colla quale l' acqua gela, o il gelo si scioglie, è una conseguenza del tempo richiesto, perchè le atmosfere eteree attorno le particelle dell' acqua si contraggano, o si espandano con una forza equivalente a 140° di calore. Un grado notevole di freddo è sentito durante il disgelo, perchè il ghiaccio, nel suo passaggio dal solido allo stato liquido, assorbisce il calore sensibile dall' atmosfera e dagli oggetti circostanti. Il calore assorbito e svolto per la rarefazione e condensazione dell' aria, è esattamente proporzionale alla forza svolta ed assorbita in queste operazioni. Di fatti, i cangiamenti di temperatura prodotti da queste rarefazioni e condensazioni dell' aria, mostrano che il calore dei fluidi elastici è la forza meccanica da loro posseduta; e poichè la temperatura di un gas determina la sua forza elastica, ne segue che la forza elastica, o la pressione deve essere l' effetto del movimento delle particelle costituenti qualsiasi gas. Onofrio Davy che pel primo mostrò l' immaterialità del calore, emise l' ipotesi, che il moto che noi chiamiamo calore è una rotazione o vibrazione nelle particelle del fluido, il che secondo Joule conviene perfettamente cogli osservati fenomeni, ma egli preferisce il modo più semplice di vedere di Herapath che la forza elastica, o la pressione, è dovuta allo sforzo delle particelle contro qualche superficie loro presentata. Il calore latente o assorbito può essere riguardato come un' energia quiescente, pronta ad essere portata alla forma di calore

sensibile quando si fa sortire; le sue vibrazioni, come calore, sono estinte col tempo essendo trasferite alla forza interna espansiva, e sono ravvivate dalla compressione. Il calore assorbito dell' aria e di tutti i fluidi elastici può esser cacciato fuori in forza di una improvvisa compressione come l' acqua spremuta fuori da una spugna. La quantità del calore resa attiva per questa via viene illustrata bene coll' esperimento dell' esca che si accende nella violenta compressione dell' aria, per un pistone introdotto in un cilindro chiuso da un capo: lo sviluppo del calore su di una scala meravigliosa, è esibito nel baleno: esso è proporzionale al quadrato della quantità dell' elettricità scaricata, ed è dovuto all' eccessiva velocità di questa, e alla violenta compressione dell' aria, nel suo passaggio per l' atmosfera. Delle quantità prodigiose di calore sono costantemente assorbite o rese libere nei cangiamenti, ai quali le sostanze vanno soggette, passando da solide a liquide, e da liquide a gassose, e al contrario, producendo varietà infinite di temperatura sopra la terra, ed espansioni e contrazioni infinite, le quali sono termini correlativi di calore e freddo, mentre l'irraggiamento del calore è solamente il trasporto di movimento dalle particelle che sono sulla superficie dei corpi alle adiacenti particelle dell' atmosfera.

Per la continua applicazione di calore, cioè della forza espansiva, i liquidi sono cangiati in vapore, ch' è invisibile ed elastico in alto grado. Sotto l' ordinaria pressione atmosferica, cioè quando il barometro segna 30 pollici, l' acqua in una caldaia al fuoco assorbe calore continuamente, sino a che questo arriva a 212° Fahrenheit che è la temperatura dell' acqua bollente. Appresso, l' acqua cessa di mostrare aumento di sensibile calore, ma quando ha assorbito un 1000° addizionali di calore o di forza espansiva, questa muta l' acqua in vapore, ed una forza condensatrice equivalente a 1000° di calore la riduce in acqua novellamente. L' acqua bolle

a temperature diverse sotto diversi gradi di pressione. Essa bolle a temperatura più bassa sulla vetta d' una montagna che nel piano, perchè il peso dell' atmosfera è minore alla stazione più alta. Non vi è limite alla temperatura, a cui può l'acqua esser alzata; essa potrebbe essere portata al color rosso, se si ritrovasse un vaso abbastanza forte per resistere alla pressione, perchè l' intensità della forza espansiva impedita dall' avere effetto per l'estrema pressione sulla caldaia sarebbe cangiata in calore sensibile, che potrebbe in sull' ultimo render l' acqua al color rosso. Così, poichè la forza del vapore è in proporzione alla temperatura a cui l' acqua bolle, o alla pressione, esso è sotto la dipendenza dell' uomo, e dall' elettricità in fuori, il vapore è forse il potere più grande che sia stato fatto servire ai bisogni dell' uomo.

Si è ritrovato che l' assoluta quantità di calore consumato nel processo di convertire l' acqua in vapore è lo stesso, a qualsisia temperatura l' acqua bolla, ma che l' assoluto calore del vapore è più grande esattamente in proporzione che il suo calor sensibile è minore. Così il vapore alzato a 212° Fahrenheit sotto l' ordinaria pressione atmosferica, e il vapore a 180° sotto la metà di questa pressione, contiene la stessa quantità di calore, con questa differenza, che l' uno ha più calore assorbito e meno calore sensibile dell'altro. Egli è evidente che come la stessa quantità di calore si richiede per cangiare un dato peso di acqua in vapore, a qualsiasi temperatura o sotto qualunque pressione l' acqua possa esser bollita, così nella macchina a vapore pesi eguali di vapore ad un' alta pressione e ad una bassa sono prodotti dalla stessa quantità di riscaldamento; e qualunque sia la pressione del vapore, la consumazione del riscaldamento è proporzionale alla quantità dell'acqua convertita in vapore. Il vapore di qualsiasi tensione si spande essendo in libertà; ma l' espansione del vapore di alta pressione a carico del suo calore sensibile è tale, che la mano può essere

immersa in esso senza lesione al momento della sua uscita per l' orifizio della caldaia. Il vapore diventa più caldo per il fregamento nell' uscire dall' orifizio, che lo mantiene nella sua forma asciutta, perciocchè non v' ha dubbio che il vapore di alta pressione non sia secco.

La elasticità o tensione del vapore, come quella dell' aria comune, varia in ragione inversa del suo volume; cioè, quando lo spazio occupato è doppio, la sua forza elastica è ridotta alla metà. L' espansione del vapore è indefinita, la più piccola quantità di acqua espansa in vapore occuperebbe molti milioni di piedi cubici; spiegazione maravigliosa della piccolezza delle ultime particelle della materia.

La forza del vapore, tremenda come il fulmine istesso quando non sia regolata, è puramente il risultato dell'affinità chimica: è l'attrazione chimica tra le particelle del carbone fossile, o di legna, e l' ossigeno dell' atmosfera. Joule si è assicurato che una libbra del miglior carbon fossile, quando è acceso, dà sufficiente calore per alzare la temperatura di 8,086 libbre di acqua ad un grado del centigrado; quindi è stato calcolato da Helmholtz, che la forza chimica derivante dalla combustione di quella libbra di carbon fossile è capace di portare un corpo di un cento libbre di peso all' altezza di venti miglia. Questo è il lavoro eseguito per mezzo del calore prodotto dalla combustione d' una libbra di carbon fossile. In tutti quei casi in cui l' opera è prodotta per mezzo del calore, una quantità di calore proporzionale all'opera fatta, è spesa; e al contrario, per la spesa di una simile quantità di lavoro la stessa somma di calore può essere prodotta. L' equivalenza del calore e del lavoro è una legge di natura. La forza meccanica esercitata dalla macchina a vapore, per esempio, è esattamente proporzionale al consumo del calore, nè più nè meno; se si producesse una quantità maggiore che il suo equivalente, avrebbesi il moto perpetuo, ciò che è impossibile. Le macchine

non generano forza. Noi non possiamo creare forza: noi solo possiamo approfittarci delle inesauribili ricchezze della natura, il baleno, il fuoco, l' acqua, il vento, l' azione chimica ec. La quantità del potere meccanico è sempre lo stesso in natura; non è cresciuto, non è diminuito per l' intero giro dei poteri naturali. La conservazione della forza è permanente ed immutabile del pari che la materia. Può dormire per un tempo, ma sempre esiste. Noi non siamo consci dell' enorme potere dinamico, che è attivo o latente entro il globo, perchè noi non possiamo tenergli dietro. Dal flusso e riflusso della marea vien esercitato un potere pel quale 25,000 miglia cubiche d' acqua sono fatti passare sopra un quarto del globo, ogni 12 ore; e il prof. Thomson ha calcolato per mezzo dei dati di Pouillet sull' irraggiamento solare e sugli equivalenti meccanici del calore di Joule, che il valor meccanico di tutta l' energia attiva e potenziale delle perturbazioni intrattenute nel mezzo etereo per le vibrazioni della luce solare in un miglio cubico della nostra atmosfera, è eguale a 12,050 volte l' unità della forza meccanica, cioè 12,050 volte la forza che innalzerebbe una libbra di materia all' altezza d' un piede: quindi qualche idea può formarsi della vasta somma di forza esercitata dalla luce solare, dentro i limiti di tutta l' atmosfera della terra (N. 223).

La energia dinamica delle ondulazioni della luce del sole somministra alle foglie delle piante il potere di decomporre l' acido carbonico, e di separare le particelle del carbone e d' idrogeno dall' ossigeno, pel quale essi hanno grande affinità. In questa operazione le ondulazioni del raggio solare sono estinte come luce e calore, e Thomson ha provato che la quantità di queste ondulazioni così estinte è precisamente eguale alla energia potenziale o quiescente così creata, e che precisamente la stessissima quantità di luce e di calore è formata, quando le piante sono abbruciate, in qualsiasi stato esse

possano ritrovarsi; e che per tal modo, come Giorgio Stephenson [1] ha con verità e bellezza osservato, i nostri fuochi di carbon fossile e le lampade a gas ristorano pel nostro consumo la luce e il calore solare dell' epoche geologiche primitive, che sono restati come poteri dormienti, sotto i mari e le montagne per secoli innumerevoli. Il sole pertanto è la sorgente dell' energia meccanica di tutto il calore e del movimento delle cose inanimate, di tutti i moti del calore e della luce dei fuochi, e delle fiamme artificiali, e del calore d' ogni creatura vivente. Imperocchè il calore animale, e i pesi innalzati, o le resistenze superate, sono effetti meccanici della chimica combinazione del cibo coll' ossigeno, ed il cibo è o direttamente o indirettamente vegetabile, e per conseguenza dipendente dal sole.

Il prof. Helmholtz di Bonn ha posto in un bel punto di vista l' enorme ricchezza di forza posseduta dal nostro sistema, paragonandola col suo equivalente di calore. La forza colla quale la terra si muove nella sua orbita è tale, che se fosse portata a rimanersi in quiete per un urto improvviso, una quantità di calore genererebbesi per il colpo, eguale a quello prodotto dalla combustione di quattordici simili terre di carbone fossile, e supponendo la capacità della terra pel calore così bassa come quella dell' acqua, il globo sarebbe riscaldato a 11,200° centigradi. Esso sarebbe fuso del tutto, ed in grandissima parte ridotto in vapore. Se questo accadesse al sole, il quale certamente si fonderebbe, la quantità del calore disviluppata dall' urto sarebbe quattrocento volte maggiore.

---

[1] A questo distinto uomo il mondo deve il sistema delle locomotive per le strade ferrate, il quale ha fatto rapidamente progredire la civiltà del genere umano. La Gran Brettagna può andar superba delle sue classi operaie, le quali possono produrre tali uomini; nè il signor Giorgio Stephenson è il solo; ve ne sono molti altri, ma nessun uomo ha mai avuto una maggiore influenza, mediante le sue fatiche e le sue scoperte, sulle cose del mondo.

L'applicazione del calore ai vari rami delle artî meccaniche e chimiche ha prodotto in questo secolo un cambiamento nelle condizioni dell' uomo, maggiore che non si fosse fatto in alcun altro periodo eguale della sua esistenza. Armato per l'espansione e per la condensazione dei fluidi d'un potere eguale a quello del fulmine stesso, guadagnando tempo e spazio, egli vola sopra i piani e viaggia per strade tagliate dalla umana industria, anche attraverso le montagne, con una velocità e dolçezza più somigliante al moto de' pianeti che ad un moto sulla terra. Egli attraversa l'oceano ad onta dei venti e delle maree; rallentando lo sforzo della gomena, stassi sull'ancora senza timore della tempesta; fa del baleno il suo messaggiero; e simile a un mago, innalza dagli abissi oscuri e profondi delle miniere il raggio solare dei primi secoli per espellere l'oscurità della mezzanotte.

Tutti i principali fenomeni del calorico possono realmente essere spiegati, paragon andoli al suono. L'eccitazione del suono e del calore non è solo simile, ma spesso identica come nella confricazione e nella percussione: l'uno e l'altro si comunicano per contatto e irraggiamento, e Joung osserva che l'effetto del calorico raggiante elevando la temperatura d' un corpo sopra cui cade, rassomiglia l'agitazione simpatica d' una corda, quando il suono di un' altra che è all' unisono con essa, è trasmesso a traverso l' aria. La luce, il calorico, il suono e le onde dei fluidi sono tutti soggetti alle stesse leggi; le teorie loro ondulatorie sono perfettamente simili: quindi la interferenza di due raggi caldi deve produrre freddo, cioè estinguersi l' uno l' altro: l' oscurità risulta dall' interferenza di due ondulazioni di luce; il silenzio deriva dall' interferenza di due ondulazioni sonore, e l' acqua quieta o la mancanza della marea è la conseguenza dell' interferenza di due maree. La propagazione del suono però richiede un mezzo più denso assai che quello della luce e del

calorico: la intensità del suono diminuisce come cresce la rarità dell'aria; così che ad una piccolissima altezza sopra la superficie della terra, il rumore della tempesta cessa, e il tuono non è udito più in quelle regioni senza confine, dove i corpi celesti compiono i loro periodi in un eterno e sublime silenzio.

La coscienza della fallacia dei nostri sensi è una delle conseguenze più importanti dello studio della natura. Questo studio c'insegna che nessun oggetto è veduto da noi nel suo vero luogo a motivo dell' aberrazione della luce; che i colori delle sostanze sono soltanto gli effetti dell' azione della materia sopra la luce, e che la luce stessa egualmente che il calorico e il suono non sono esseri reali, ma puri moti comunicati alle nostre percezioni per mezzo dei nervi. Il corpo umano può per questo essere riguardato come un sistema elastico, le cui differenti parti sono capaci di ricevere i tremori dei mezzi elastici e di vibrare all' unisono con qualunque numero di sovrapposte ondulazioni, le quali tutte hanno il loro effetto completo ed indipendente. Qui finisce la nostra conoscenza: l' influenza misteriosa della materia sullo spirito probabilmente sarà sempre nascosta all' uomo.

SEZIONE XXVIII.

Elettricità statica o elettricità di tensione — Potere doppio — Metodi per eccitarlo — Attrazione e ripulsione — Conduzione — Elettrici e non elettrici — Induzione — Dielettrici — Tensione — Legge della forza elettrica — Distribuzione — Leggi della distribuzione — Calore dell' elettricità — Luce elettrica e suo spettro — Velocità — Elettricità atmosferica — Sua causa — Nubi elettriche — Effetti violenti del fulmine — Colpo di ritorno — Luce elettrica — Fosforescenza.

L' elettricità è un agente che non dà nessun segno visibile della propria esistenza quando è in istato d' equilibrio, ma quando è risvegliata si sviluppano delle forze capaci di produrre i più subitanei violenti effetti distruttivi in alcuni casi, mentre in altri la loro azione sebbene meno energica è d' indefinita e non interrotta continuazione. Queste modificazioni delle forze elettriche che incidentemente dipendono dalla maniera colla quale si eccitano, presentano fenomeni di grande diversità, ma pure così connessi da giustificare la conclusione, che essi hanno origine da un principio comune. L' ipotesi che la elettricità sia un fluido, non si può sostenere nel presente stato avanzato della scienza: noi conosciamo solamente che essa è una forza, la cui azione è doppia, che attrae i corpi in uno stato elettrico, e nell' altro li rispinge: nel primo la elettricità si dice positiva, nell' ultimo negativa, e così considerandola come una forza, i suoi modi di agire cadono sotto le leggi dell' analisi meccanica e matematica.

La elettricità può essere messa in azione per la confricazione di sostanze eterogenee come nella comune macchina elettrica, pel potere meccanico, pel calore, per l' azione chimica, e per la influenza del magnetismo. Ignoriamo del tutto perchè essa sia tolta dal suo stato naturale per questi mezzi e qual sia la maniera di sua

esistenza nei corpi, ma quando vien eccitata sembra produrre una molecolare polarità o un chimico cangiamento nelle ultime particelle della materia.

La scienza elettrica è divisa in vari rami, dei quali la elettricità comune o statica è da prima considerata, racchiudendo quella dell' atmosfera. Le sostanze in uno stato neutro nè si attraggono nè si respingono. Vi è una classe numerosa, chiamata degli elettrici, nella quale l' equilibrio è distrutto pella confricazione: allora l' elettricità positiva e negativa sono chiamate in attività o separate: la positiva è spinta in una direzione, e la negativa in un' altra. Le elettricità della medesima specie respingonsi, mentre quelle di specie differente attraggonsi vicendevolmente. La forza attrattiva è esattamente eguale alla ripulsiva a distanze eguali, e quando non sono impedite le due elettricità si riuniscono insieme con grande rapidità e violenza, producendo la scintilla elettrica, l' esplosione, la scossa: allora l' equilibrio è ristabilito, e l' elettricità rimane latente fino a che di nuovo non è chiamata fuori da una novella causa eccitatrice. Una delle specie di elettricità non può essere svolta senza lo sviluppo di una quantità eguale della specie opposta. Così quando una verga di vetro è fregata con un pezzo di seta, quanta elettricità positiva è eccitata nel vetro, altrettanta n' è eccitata di negativa nella seta. La specie di elettricità dipende più dalla condizione meccanica, che dalla natura della superficie; perocchè quando due lastre di vetro, l' una levigata e l' altra no, sono fregate insieme, la superficie levigata acquista la positiva, e la non levigata la negativa. La maniera nella quale compiesi la confricazione altera pure la specie d' elettricità. Lunghezze eguali di nastro nero e bianco applicate longitudinalmente l' una all' altra e tirate tra l' indice ed il pollice in modo che le loro superfici si freghino insieme, diventano elettriche. Quando sono separate, il bianco si ritrova elettrizzato positivamente, e il nero negativa-

mente; ma se l'intera lunghezza del nastro nero sia tirata a traverso la larghezza del bianco, il nero sarà elettrizzato positivamente, ed il bianco negativamente quando vengono separati. La confricazione dei cuscinetti sopra la lastra di cristallo della macchina elettrica produce abbondanza di elettricità statica: la confricazione del vapore sulle valvule di una macchina a vapore isolata d'una locomotiva produce sette volte la quantità di elettricità, che nella macchina elettrica si produrrebbe con un piatto di tre piedi di diametro, messa in moto in ragione di 70 rivoluzioni al minuto. La pressione è una sorgente di elettricità che Becquerel ha ritrovato essere comune a tutti i corpi, ma è necessario separarli per impedire la riunione dell'elettricità. Quando due sostanze di qualsiasi sorta sono isolate e compresse insieme, esse assumono stati elettrici differenti, ma mostrano soltanto elettricità differenti, quando l'una è buon conduttore. Se ambedue sono tali, esse devono essere separate con grandissima prestezza onde impedire il ritorno all'equilibrio. Allorchè la separazione è istantaneissima, la tensione delle due elettricità può essere abbastanza grande per produrre la luce. Becquerel attribuisce a questa causa la luce prodotta per la collisione delle montagne di ghiaccio. Lo spato d'Islanda è reso elettrico dalla più piccola pressione fra l'indice e il pollice, e la ritiene per lungo tempo. Tutte queste circostanze sono modificate dalla temperatura delle sostanze, dallo stato delle loro superfici, e da quello dell'atmosfera. Parecchi corpi cristallini diventano elettrici quando sono riscaldati, specialmente la tormalina, un'estremità della quale acquista l'elettricità positiva e l'altra la negativa, mentre la parte intermedia è neutra. Se la tormalina sia spezzata nel mezzo, si ritroverà che ogni frammento possiede la elettricità negativa ad una estremità, e la positiva nell'altra. L'elettricità è svolta dalle sostanze che passano dallo stato

liquido al solido, e per chimica azione durante la produzione e condensazione del vapore; il che è una grande sorgente di elettricità atmosferica. In breve, si può stabilire generalmente che quando una causa qualunque tende a distruggere l' attrazione molecolare, vi è sviluppo d' elettricità. Se nondimeno le sostanze non siano immediatamente separate, vi sarà un istantaneo ristabilimento di equilibrio.

La elettricità può essere trasferita da un corpo ad un altro nel modo stesso che il calorico vien comunicato; e come esso, il corpo la perde per trasmissione.

Sebbene nessuna sostanza sia assolutamente impervia all' elettricità, però ve ne sono alcune che non offrono la stessa resistenza al suo passaggio; nondimeno essa si muove con facilità molto maggiore a traverso una certa classe di sostanze chiamate conduttori, come i metalli, l' acqua, il corpo umano ec., che non per l' aria atmosferica il vetro, la seta ec., le quali per ciò sono dette non-conduttori o coibenti. Il potere conduttivo è modificato dalla temperatura e dalla umidità. Il globo terrestre è un conduttore, attesa la sua umidità, sebbene la terra secca non lo sia. Quantunque i metalli siano i migliori conduttori d' elettricità, questa modifica la loro struttura molecolare, perocchè il calore che accompagna il suo passaggio agisce come una forza espansiva trasversale, la quale aumenta la loro larghezza diminuendone la lunghezza, come può vedersi dal passaggio dell' elettricità per un filo di platino sufficientemente grosso per resistere alla fusione. A traverso l' aria la forza non è continua per la cattiva conducibilità di essa, e sembra agire chimicamente sull' ossigeno, producendo la sostanza conosciuta col nome di ozono durante la sua traversata nell' atmosfera. Se un conduttore è buono e di sufficiente grandezza, la elettricità passa senza essere percepita; ma esso è messo in pezzi all' istante, se è cattivo conduttore, o se è troppo piccolo per portar fuori la

carica. In questo caso il cangiamento fisico è generalmente una separazione di particelle o espansione cagionata dal calore, come nelle piante, dove esso cangia l'umidità in vapore; se non che tutti questi effetti sono proporzionati agli ostacoli opposti alla libertà del corso della elettricità.

I corpi attorniati da non-conduttori o coibenti si dicono isolati, a motivo che, quando sono caricati, l'elettricità non può fuggirne via. Quando non siano isolati, l'elettricità è trasmessa alla terra: conseguentemente è impossibile accumulare elettricità in una sostanza conduttrice che non sia isolata. Vi sono moltissime sostanze chiamate non-elettriche, nelle quali l'elettricità non è sensibilmente sviluppata dalla confricazione, se non quando esse sono isolate, perchè la elettricità è portata via dal loro potere conduttivo tosto che è sviluppata. I metalli, per esempio, che sono detti non-elettrici, possono eccitarsi, ma essendo conduttori, non possono ritenere questo stato se non in comunicazione col suolo. È probabile che nessun corpo esista che sia o perfettamente non-elettrico, o perfettamente non-conduttore. Ma è chiaro che, a un certo grado, gli elettrici siano non-conduttori; altrimenti non potrebbero ritenere il loro stato elettrico.

Un corpo carico di elettricità, sebbene perfettamente isolato così che sia impedita ogni uscita della elettricità, tende a produrre uno stato elettrico di specie opposta in tutti i corpi che si trovano nella sua vicinanza. L'elettricità positiva tende a produrre elettricità negativa in un corpo vicino, e viceversa; l'effetto essendo maggiore a misura che la distanza diminuisce. Questo potere che l'elettricità possiede di produrre uno stato elettrico contrario nella sua vicinanza, è chiamato induzione. Una bottiglia di Leida, per esempio, od una bottiglia di cristallo coperta sino a mezzo, fuori e dentro, con una foglia di stagno, quando sia caricata di elettricità positiva, immediatamente induce la negativa nel sottile fo-

glio esterno. Nonostante la loro forte e mutua attrazione, le due elettricità sono impedite di riunirsi dal cristallo, che è un coibente: ma lo stagno interno e quello esterno sia connesso per mezzo di un filo conduttore di metallo, allora esse subito si riuniscono. Quando un corpo in stato elettrico è presentato a un altro neutro, la sua tendenza, per la legge d' induzione, è di disturbare la condizione del corpo neutro, coll' indurre elettricità contraria alla propria nella parte adiacente del neutro, e perciò uno stato elettrico simile al proprio, nella parte remota. Quindi la neutralità del secondo corpo è distrutta per l' azione del primo, e le parti adiacenti dei due, avendo ora opposte elettricità, si attireranno a vicenda. L' attrazione fra le sostanze elettrizzate e non elettrizzate è una conseguenza dello stato alterato delle loro molecole. L' induzione dipende dalla facilità colla quale l' equilibrio del corpo neutro può essere superato; facilità che è proporzionale al potere conduttivo del corpo. Conseguentemente l' attrazione esercitata da una sostanza elettrizzata sopra altra sostanza in prima neutra, sarà molto più energica, se la seconda sia un conduttore, di quello che se fosse un coibente.

È chiaro che un corpo non può agire sopra un altro a distanza, senza qualche mezzo di comunicazione. Faraday ha provato che la sostanza intermedia non conduttrice o dielettrica ha una grande influenza sopra l' induzione. Matteucci ha provato col seguente esperimento che la sostanza intermedia è essa stessa polarizzata per induzione. Un certo numero di lastre di mica in contatto era situato tra due lastre di metallo, una delle quali era elettrizzata, così che il tutto era caricato come una bottiglia di Leida. Separandosi le lastre con manichi isolanti, ogni lastra di mica era elettrizzata: un lato di essa era positivo, e l' altro negativo, mostrando decisivamente una polarizzazione per indu-

zione a traverso tutta la sostanza non-conduttrice intermedia; e così, sebbene la sostanza interposta o dielettrica è incapace di condurre la forza elettrica da un corpo ad un altro, essa diventa per induzione capace di trasmetterla. Nell' atmosfera l' induzione è trasmessa per quella degli strati intermedi dell' aria. È vero che l' induzione ha luogo nel più perfetto vuoto che sia possibile farsi, ma sempre vi rimane qualche poco d' aria sommamente elastica; e se anche l'aria potesse del tutto escludersi, il medio etereo non si può, e questo deve esser capace d' induzione, poichè, anche quando è ridotto a poco, deve pure consistere di atomi materiali, altrimenti sarebbe una non-entità.

La legge dell' attrazione e ripulsione elettrica è stata determinata sospendendo un ago di gomma lacca orizzontalmente per mezzo di un filo di seta, portando l' ago ad una estremità un pezzo di foglia d' oro elettrizzata. Un globo nello stesso stato elettrico, o nel contrario, quando sia presentato alla foglia d' oro, la rispingerà o l' attirerà, e per questo farà vibrare l' ago più o meno rapidamente, secondo la distanza del globo. Un confronto fra il numero delle oscillazioni fatte in un dato tempo a differenti distanze, determinerà la legge della variazione dell' intensità elettrica nel modo stesso che la forza di gravitazione è misurata per le oscillazioni del pendolo. Coulomb inventò un istrumento che bilancia le forze in discorso per mezzo della forza di torsione d' un filo, che per conseguenza misura la loro intensità; e Sir William Snow Harris ha costruito un istrumento col quale egli ha misurato la intensità della forza elettrica per mezzo dei termini del peso richiesto per bilanciarla. Con questi metodi si è ritrovato che l' intensità dell' attrazione e ripulsione elettrica varia inversamente come i quadrati delle distanze. Contuttociò la legge della forza ripulsiva è soggetta a grandi disturbi per l' azione induttiva che Snow Harris ha ritrovato esistere non solo

tra un corpo carico e un neutro, ma ancora tra i corpi similmente carichi ; e che in questo ultimo caso il processo induttivo può indefinitamente modificarsi per le varie circostanze della quantità ed intensità dell' elettricità e la distanza tra i corpi elettrizzati.

La quantità dell' elettricità che i corpi sono capaci di ricevere, non segue la proporzione del loro volume, ma dipende principalmente dalla forma ed estensione della loro superficie. Si vede per gli esperimenti di W. Snow Harris, che una data quantità di elettricità, divisa fra due corpi perfettamente eguali e simili, esercita sopra i corpi esteriori solo un quarto della forza attrattiva che apparisce quando è posta sopra uno d' essi; e se è distribuita fra tre corpi eguali e simili, la forza è un nono di quella apparente quando è posta sopra uno di essi. Quindi se la quantità di elettricità è la stessa, la forza varia inversamente come il quadrato della superficie sopra la quale è disposta; e se la superficie è la stessa, la forza varia direttamente come il quadrato della quantità del fluido elettrico. Queste leggi nondimeno non hanno luogo quando la forma della superficie è cangiata. Una quantità data di elettricità disposta sopra una data superficie ha la massima intensità, quando la superficie ha una forma circolare; e la minima, quando la superficie è estesa in linea retta indefinita. Il decrescimento d' intensità sembra derivare da qualche peculiare disposizione dell' elettricità dipendente dall' estensione della superficie. Esso è assolutamente indipendente dall' estensione dell' orlo, essendo l' area la stessa ; perocchè Snow Harris ritrovava che la intensità elettrica d' una sfera caricata è la stessa di quella di un' area piana circolare della medesima estensione superficiale, e quella d' un cilindro caricato è la stessa, come se esso fosse tagliato aperto, e disteso in una superficie piana.

Il medesimo abile Professore ha dimostrato che la

forza attrattiva tra un corpo elettrizzato ed un corpo neutro non isolato è la stessa, qualunque siano le forme delle loro parti non opposte. Così due emisferi si attraggono l' un l' altro precisamente con la forza stessa come se fossero sfere, e siccome la forza è in ragione diretta come il numero dei punti attraenti in azione, e inversamente come i quadrati delle rispettive distanze, ne segue, che l' attrazione tra un anello ed una area circolare non è maggiore di quella di due anelli simili, e la forza tra una sfera ed un opposto segmento sferico della stessa curvatura non è maggiore di quella di due segmenti simili, ognuno eguale al segmento dato.

L'elettricità può essere accumulata in una grande quantità nei corpi isolati, e sino a che essa è in quiete, non cagiona alcun sensibile cangiamento nelle loro proprietà. Quando è frenata per il potere non-conduttivo dell' atmosfera, la sua tensione o la pressione esercitata è proporzionale alla forza coercitiva dell' aria. Se la pressione è minore che la forza coercitiva, la elettricità è ritenuta; ma tosto che essa eccede questa forza in alcun punto, essa scappa via, e tanto più presto, se l' aria è rarefatta o satura di umidità; perchè la resistenza dell' aria è proporzionale al quadrato della sua intensità; se non che l' azione induttiva dell' elettricità sui corpi distanti è indipendente dalla pressione atmosferica. Il potere di ritenere l' elettricità dipende ancora dalla forma del corpo caricato. Essa è più facilmente ritenuta in una sfera o in una sferoide; ma se ne va prontamente da una punta, ed un oggetto puntato la riceve con la maggiore facilità.

Il calore prodotto da un colpo elettrico è proporzionale al quadrato della quantità d'elettricità scaricata, ed è così intenso, che fonde i metalli e volatilizza le sostanze, ma la sua intensità non è sentita in tutta la sua estensione, a motivo della breve durata. È accom-

pagnato dalla luce solo quando la elettricità è impedita nel suo passaggio attraverso la sostanza.

La luce elettrica, quando è analizzata per mezzo di un prisma, differisce moltissimo dalla luce solare. Fraunhofer ritrovò che invece delle linee fisse oscure dello spettro solare, lo spettro d'una scintilla elettrica è attraversato da numerosissime linee lucide, e Wheatstone ha osservato che il numero e la disposizione delle linee differiscono col metallo dal quale è presa la scintilla, e crede che la scintilla stessa risulti dall' ignezione e volatilizzazione della materia del conduttore.

Secondo gli esperimenti di H. Davy la densità dell' aria influisce sul colore. Egli fece passare la scintilla elettrica attraverso il vuoto sul mercurio, e da verde essa diventava successivamente verde-mare, bleu e porpora, con ammettere differenti quantità d'aria. Quando il vuoto era fatto sopra una lega fusibile di stagno e di bismuto, la scintilla era giallognola e di estremo pallore. Davy quindi concludeva, che la luce elettrica principalmente dipende da alcune proprietà che appartengono alla materia ponderabile a traverso la quale passa la luce, e che lo spazio è capace di mostrare apparenze luminose, sebbene non contenga una quantità apprezzabile di questa materia. Egli credeva che le particelle superficiali dei corpi che formano vapore, quando sono disgiunte dalla forza ripulsiva del calorico, possano essere egualmente separate dalle forze elettriche e produrre luminose apparenze nel vuoto per la distruzione dei loro stati elettrici opposti.

La velocità dell' elettricità è così grande, che il moto più rapido che si possa produrre con l' arte, comparisce esser un vero riposo quando lo si paragoni con quella. Una ruota che giri con sufficiente celerità da rendere invisibili i suoi razzi, quando è illuminata da un lampo, è veduta un istante con tutti i suoi razzi distinti, come se fosse in una quiete assoluta ; a motivo

che, quantunque rapida possa essere la rotazione, la luce è arrivata ed ha cessato prima che la ruota abbia avuto il tempo di girare per uno spazio sensibile. Questo bell'esperimento è dovuto a Wheatstone, egualmente che le seguenti variazioni che non sono meno sorprendenti: Se un pezzo circolare di cartone sia diviso in tre parti eguali, una delle quali sia dipinto in bleu, l' altra in giallo, e la terza in rosso, esso comparirà bianco, quando lo si giri rapidissimamente, a motivo della velocità con che le impressioni dei colori succedonsi sulla retina. Ma all' istante che esso sia illuminato da una scintilla elettrica, sembra che stia fermo, ed ogni colore si vede così distinto come se fosse in riposo. Questa celerità trascendente dell' elettricità è stata ingegnosamente misurata, come segue, dal professor Wheatstone, il quale ha potuto assicurarci che sorpassa di molto la velocità della luce.

Nel diametro orizzontale d' un piccolo disco fissato sul muro d' una camera oscura, sono disposte sei piccole palle di rame, bene isolate l' una dall' altra. Un filo di rame isolato lungo mezzo miglio, è disgiunto nel suo mezzo ed anche presso le due estremità. Le sei estremità così ottenute sono connesse con le sei palle del disco. Quando una scarica elettrica è mandata a traverso il filo, connettendo le sue due estremità una colla positiva l' altra colla negativa fasciatura d' una bottiglia di Leida, tre scintille si vedono sul disco comparire all'istante medesimo. Alla distanza di circa 10 piedi vi è messo un piccolo specchio, che gira in modo da riflettere queste tre scintille durante la sua rivoluzione. Per l' estrema celerità del fluido elettrico è chiaro che se le tre scintille sono simultanee, saranno riflesse e svaniranno prima che lo specchio abbia sensibilmente cangiato di posto, per quanto rapida possa essere la sua rotazione, e le scintille saranno vedute in linea retta. Ma se le tre scintille non sono simultaneamente trasmesse sul disco, se una, per esempio, sia più tarda dell' altre due, lo

specchio avrà tempo a voltare per un arco infinitament piccolo, nell' intervallo tra la riflessione delle due scintille e quella dell' altra. Con tutto ciò la sola indicazione di questo piccolo movimento dello specchio sarà che la scintilla unica non comparirà riflessa nella linea retta delle altre due, ma un poco sopra o sotto di questa retta, perocchè la riflessione di tutte e tre comparirà sempre simultanea, essendo il tempo che vi si mette di troppo assai breve per essere apprezzato.

Poichè il numero dello rivoluzioni che lo specchio fa in un secondo è noto, e la deviazione angolare della riflessione della prima scintilla può essere misurata dalla riflessione delle altre due, il tempo passato tra le loro consecutive riflessioni può essere accertato. E siccome la lunghezza di quella parte del filo pel quale è passata l'elettricità, è data, la velocità di questa può ritrovarsi.

Il numero delle vibrazioni in un secondo, richiesto per produrre una nota musicale d' una certa altezza essendo conosciuto, il numero delle rivoluzioni compite dallo specchio in un dato tempo può essere determinato dalla nota musicale prodotta da un dente o piuolo nell' asse di rotazione dello specchio, battendo contro una carta, o dalle note d' una sirena attaccata all' asse. Fu in questo modo che Wheatstone ritrovò che lo specchio in questi esperimenti faceva 800 rivoluzioni in un secondo; e siccome la velocità angolare dell' immagine riflessa nello specchio girante è doppia che quella dello specchio, una deviazione angolare d' un grado nella comparsa delle due scintille indicherebbe un intervallo di una 576,000^{ma} parte di un secondo: la deviazione di mezzo grado per questo indicherebbe più che una milionesima parte d' un secondo. L' uso del suono come misura della velocità è una felice illustrazione della connessione delle scienze fisiche.

La terra possiede una potente tensione elettrica, e

quando l' atmosfera è chiara, è quasi sempre elettrica positivamente. La elettricità dell' atmosfera è più forte nell' inverno che nell' estate, più di giorno che di notte. L' intensità cresce per due o tre ore dal tempo della levata del sole: arriva a un *maximum* tra le 7 e le 8: quindi decresce verso il mezzodì; arriva al suo *minimum* tra l' una e le due, e di nuovo aumenta quando il sole declina sino circa il tempo del tramonto; dopo il quale diminuisce, e debole continua durante la notte. La condensazione del vapore è una sorgente di elettricità atmosferica; ma sebbene essa sia ancora prodotta dal vapore che nasce dalla superficie della terra, questo non succede sempre. Il signor Pouillet ha ritrovato che l' elettricità è solo sviluppata, quando è accompagnata dall' azione chimica: per esempio, quando l' acqua, dalla quale il vapore deriva, contiene calce, creta od alcuni alcali solidi, viene prodotta elettricità negativa; e quando l' acqua tiene in soluzione gas, acidi, o qualche sale, il vapore è elettrizzato positivamente. Inoltre, il contatto della terra con l' acqua salata e dolce genera elettricità positiva, ed il contatto di correnti fresche e salate di acqua genera elettricità negativa; dimodochè l'oceano deve somministrare un gran supplemento all' atmosfera: quindi i temporali sono più frequenti vicino le coste: ma siccome l' elettricità d' una o d' altra maniera è sviluppata ogni volta che le molecole della materia sono smosse dal loro stato naturale d' equilibrio, vi debbono essere molte parziali variazioni nello stato elettrico dell' aria. Quando l' invisibile vapore s' alza carico di elettricità nelle fredde regioni atmosferiche, esso è condensato in nube, nella quale la tensione è accresciuta, perchè l'elettricità è confinata ad uno spazio più piccolo; e se la condensazione basta per produrre gocciole di pioggia, queste portano la elettricità sulla terra, così che in generale un temporale è un conduttore tra le nubi e la terra. Quando due nubi cariche di specie differente, ma di eguale ten-

sione, sono vicine ad una certa distanza, la intensità cresce verso le parti delle nubi, che sono più vicine le une alle altre; e quando la tensione è grande abbastanza da vincere la pressione coercitiva dell' atmosfera, ha luogo una scarica, che produce un lampo, il colpo essendo dato o dalla nube o dalla pioggia.

La quantità reale di elettricità in ogni parte di una nube è piccolissima. L' intensità del baleno nasce dalla grande estensione della superficie occupata dall' elettricità: cosicchè le nubi possono essere paragonate ad enormi bottiglie di Leida sottilmente coperte di fluido elettrico, il quale solo acquista la sua intensità dalla istantanea sua condensazione. I moti rapidi ed irregolari delle nubi temporalesche si devono attribuire, secondo ogni probabilità, più alle forti attrazioni e ripulsioni elettriche fra di loro, che alle correnti di aria, sebbene le une e le altre abbiano parte, senza dubbio, in questi ostili movimenti. L' atmosfera diventa intensamente elettrica all' accostarsi della pioggia, grandine, neve, e vento: ma essa varia in appresso, e i passaggi sono rapidissimi all' avvicinarsi di un temporale.

Poichè l'aria è un non-conduttore, non trasporta l'elettricità dalle nubi alla terra, ma riceve da queste un' elettricità contraria, e quando la tensione è grandissima, la forza dell' elettricità diventa irresistibile, ed ha luogo uno scambio tra le nubi e la terra; se non che così rapido è il moto del lampo, ch' è difficile l' accertare se venga dalle nubi alla terra, o parta dalla terra all' insù nelle nubi, sebbene non vi possa essere dubbio che succeda ora l' una ora l' altra cosa. In un temporale che occorse a Manchester nel mese di giugno del 1835, il fluido elettrico fu osservato scaturire da' varii punti di una strada, accompagnato da esplosioni come se fossero state scariche di pistole venienti dal suolo, e sembra che un uomo sia stato ucciso da una di queste esplosioni, che accadde sotto il suo piede. Gay Lussac si è assicurato

che il baleno qualche volta dardeggia più che per tre miglia in linea retta.

Una persona può esser uccisa dal fulmine, sebbene la esplosione avvenga alla distanza di 20 miglia per quello che si chiama contro colpo. Supponete che le due estremità di una nube altamente carica di elettricità pendano giù verso la terra: esse respingeranno l'elettricità dalla superficie terrestre, se questa elettricità è della stessa sorte della propria, ed attireranno l'altra sorte; e se una scarica di improvviso avvenisse ad una estremità della nube, l'equilibrio istantaneamente sarebbe ristabilito per un lampo in quel punto della terra che è sotto l'altra. Sebbene il contro colpo sia spesso abbastanza potente per togliere la vita, non è mai così terribile ne' suoi effetti come il colpo diretto che frequentemente è d'inconcepibile intensità. Sono accaduti esempi ne' quali larghe masse di ferro e di pietra, ed anche molti piedi di un muro di pietra, sono stati portati via a notevole distanza per un colpo di fulmine. Le rocce e le vette dei monti spesso portano le tracce di fusione prodotta dal suo calore intenso; e talvolta tubi vitrei che si sprofondano molti piedi entro i banchi di sabbia notano il cammino del fluido elettrico. Il dottore Fiedler presentava a Londra parecchie di queste folgoriti di considerevole lunghezza, che erano state tolte dall' arenose pianure della Silesia e della Prussia orientale. Una, ritrovata a Paderborn, era lunga 40 piedi. Le ramificazioni delle folgoriti generalmente terminano in pozzanghere o sorgenti d'acqua sotto la sabbia, che si suppongono determinare il corso del fluido elettrico. Non vi è dubbio che il suolo e gli strati inferiori debbano influire alla sua direzione, giacchè si è ritrovato per mezzo della esperienza che luoghi i quali sono stati una volta colpiti dal fulmine, spesso lo sono stati di nuovo. Un conduttore isolato all'avvicinarsi della tempesta manda una quantità di scintille,

onde è pericoloso l'accostarsigli, come fatalmente lo provò il prof. Richman a Pietroborgo, il quale fu colpito a morte da un globo di fuoco partito dall'estremità d'un conduttore, mentre egli faceva esperimenti sull'elettricità atmosferica. I conduttori di rame offrono la migliore protezione, specialmente se difendono superfici estese, perchè la elettricità vien condotta lunghesso le superfici dei corpi. Non vi è esempio d'una nube elettrica di alta tensione, che sia stata dissipata da un conduttore; neanche quelli inventati da W. Snow Harris, generalmente in uso nella navigazione, somministrano una completa protezione nel più imminente pericolo. Il *Shannon* fregata di 50 cannoni, comandata dal bravo e compianto W. Peel, era avviluppata in una burrasca, ritrovandosi circa 90 miglia al nord-ovest di Java. La burrasca cominciò cinquanta minuti dopo le 4 pomeridiane; il naviglio era spinto, prima della tempesta, in alto mare, in mezzo a lampi di vivida luce, tuoni assordanti, grandine e pioggia. Alle ore cinque un immenso globo di fuoco coperse il grande albero dalla vela latina, corse sopra il padiglione regio, e scoppiò con una terribile scossa, coprendo tutto il circondante spazio con scintille di luce elettrica, le quali erano portate rapidamente dal vento alla parte opposta. Quindici minuti più tardi una immensa massa di baleni colpì l'albero principale, accompagnati da una violenta folata di vento, ed un'altra grave scarica cadde sopra di esso dopo un quarto d'ora. Da questo punto fino alle sei il naviglio fu continuamente circondato da lampi violentemente incrociati, ed incessantemente accompagnati dal rombo dei tuoni. Sebbene avviluppato nell'elettricità, e colpito tre volte, nè il corpo del naviglio, nè il sarteame patirono la menoma offesa.

Quando l'aria è rarefatta pel calore, la sua forza coercitiva diminuisce, così che l'elettricità scappa via dalle nubi in quei lambenti lampi diffusi senza tuoni, tanto frequenti nelle sere estive; e quando l'atmosfera

è moltissimo carica di elettricità, non rade volte accade che la luce elettrica in forma d'una stella è veduta alla cima dell'albero e alla bocca dell'antenne d'un vascello. Nel 1831 gli uffiziali francesi in Algeri furono maravigliati di vedere sprazzi di luce sulla testa de'loro camerati e alle punte delle dita, quando tenevano in alto le mani. Questo fenomeno era ben noto agli antichi, che lo stimavano come di buon augurio.

Molte sostanze putrefacendosi emettono luce, ch'è attribuita all'elettricità, e ne danno esempio il pesce e le legna putrefatte. I gusci d'ostrica ed una quantità di minerali diventano fosforescenti a certe temperature, se sono esposte alle scosse elettriche o alla confricazione: in fatti, la maggior parte delle cause che disturbano l'equilibrio molecolare danno origine ai fenomeni fosforici. I minerali che posseggono questa proprietà sono generalmente colorati o imperfettamente trasparenti; e sebbene il colore di questa luce varii nelle differenti sostanze, essa non ha una relazione fissa col colore del minerale. Un calore intenso distrugge affatto questa proprietà, e la luce fosforescente sviluppata dal calore non ha connessione con quella prodotta dalla confricazione; perocchè Brewster osservava che corpi privi della facoltà di emettere l'una, sono capaci di emettere l'altra. Tra i corpi che generalmente diventano fosforescenti quando sono esposti al calore, vi sono alcuni che non posseggono questa proprietà; per ciò la fosforescenza non può essere riguardata come un carattere essenziale dei minerali che la posseggono. Il solfato di calce conosciuto col nome di fosforo di Canton ed il solfato di bario, o pietra di Bologna, posseggono la proprietà fosforescente in grado eminente.

Una moltitudine di pesci sono forniti del potere di emettere luce a piacere, per abilitarli, non v'ha dubbio, a seguitare la loro preda nelle profondità dove i raggi non possono penetrare. Scintille luminose sonosi spesso vedute dardeggiare lungo i banchi di aringhe o di sa-

lacche; e le tribù di Meduse sono indicate per la loro fosforica lucentezza, molte delle quali sono estremamente piccole, e così numerose, da fare del solco d'un vascello una corrente d'argento. Con tutto ciò l'apparenza luminosa che ne' mesi estivi è spesso osservata nel mare, non può sempre attribuirsi agli animaletti marini, come lo proverà la seguente narrazione:

Il capitano Bonnycastle, salendo il Golfo di San Lorenzo il 7 settembre 1826, fu svegliato dal piloto del vascello in grande allarme per un fenomeno insolito. Era una notte stellata, quando d'improvviso il firmamento divenne oscuro nella direzione dell'alta terra, ed una luce istantanea e vivissima rassomigliante all'aurora boreale, spiccò fuori dal mare sino allora fosco ed oscuro dal lato del vascello opposto al vento, la qual luce era brillante in modo che illuminò ogni cosa distintamente sino le cime dell'albero. La luce stendevasi sopra tutto il mare tra le due spiaggie, e le onde, che prima erano tranquille, cominciarono allora ad agitarsi. Bonnycastle descrive la scena come avente l'apparenza d'un lenzuolo abbagliante di spaventevole e brillantissima luce. Una lunga e vivida linea luminosa, superiore in lucentezza alle parti del mare non immediatamente vicine al vascello, dimostrava la base dell'arcigna ed oscura terra da un lato: il firmamento diveniva più basso e più intensamente oscuro; linee lunghe tortuose di luce mostravano un numero immenso di grossissimi pesci che guizzavano attorno come spaventati. Il trinchetto e l'albero di poppa erano illuminati da intenso splendore, come se luci di gas fossero state accese direttamente sotto di loro; e sino appunto avanti il far del giorno, a 4 ore, i più minuti oggetti erano visibili distintamente. Il giorno nacque lentissimamente, e il sole sorgeva d'un aspetto di foco e minaccevole. Seguiva la pioggia. Bonnycastle fece levare una secchia di quest'acqua infiammata: essa era una massa di luce quando era mossa dalla mano, e non

presentava scintille come per il solito, ma reali corruscazioni. Una porzione dell'acqua conservò la sua lucentezza per sette notti. Alla terza notte le scintillazioni del mare riapparvero: quella sera, il sole tramontò in un modo veramente singolare, offrendo nel suo tramonto un doppio sole, e giunto a pochi gradi di altezza, mutava la sua figura sferica in quella d' un cilindro lungo, che arrivava all' orizzonte. Nella notte il mare si faceva quasi così luminoso come prima: se non che alla quinta notte il fenomeno interamente cessò. Bonnycastle non è d' opinione che questo spettacolo sia derivato da animaletti, ma crede che possa essere qualche composto di fosforo svolto improvvisamente e disposto sopra la superficie del mare. È stata probabilmente quella forma peculiare di elettricità conosciuta come scarica lucente, di cui l'Autrice vide una volta un notevolissimo esempio.

Il signor E. Becquerel afferma che quasi tutte le sostanze sono fosforescenti, se, dopo essere state esposte al sole, sono istantaneamente ritirate e messe nell' oscurità, e che ciò dipende dall' assestamento delle particelle, e non già dall' azione chimica. I sali del metallo chiamato *uranio,* danno lo stesso genere di luce fosforescente come quelli prodotti dai raggi violetti dello spettro solare. Una soluzione di bisolfato di chinina manda una luce fosforescente gialla, mentrechè la luce fluorescente di quel liquido è azzurra. I colori di queste due specie di luce generalmente si completano l' un l' altro.

Probabilmente la fosforescenza ha più o meno parte in alcune, almeno, delle serie dei curiosissimi esperimenti fatti da Niepce de Saint-Victor, su ciò che egli chiama la saturazione delle sostanze per la luce. È noto da gran tempo che se una persona in una camera perfettamente oscura esponesse il suo braccio al sole facendo un buco nelle imposte d' una finestra, esso braccio rilucerebbe se fosse ritirato nella

oscurità. Ora il signor de Saint-Victor trovò che se un' incisione viene esposta per un po' di tempo al sole, e istantaneamente portata nell' oscurità, essa fa una impressione fotografica sopra una superficie di collodione o di argento, e che qualsiasi cosa scritta o disegnata coll' acido tartarico, o con una soluzione dei sali di uranio, in grandi caratteri, è riprodotta anche a una piccola distanza da una superficie sensibile. Si può presumere che la luce comunica le sue vibrazioni alle superfici esposte ad essa con forza sufficiente da metterle in grado di disturbare l' instabile equilibrio di tali sostanze sensitive, come il collodione o i sali di argento. Il signor de Saint-Victor ha dimostrato che l' acido tartarico, che è prontamente impresso dal raggio solare, non è fluorescente nè fosforescente; onde egli conclude che i suoi esperimenti sono indipendenti da ambedue questi modi di azione. L' uranio sembra avere proprietà particolarissime: i suoi sali sono fortemente luminosi se vengono esposti al sole, essi sono molto fluorescenti, e l' azototo d' uranio cristallizzato diventa fosforescente colla percussione.

SEZIONE XXIX.

Elettricità voltaica — Batteria di Volta — Intensità — Quantità — Elettricità statica e elettricità dinamica — Effetti luminosi — Arco e luce elettrica del signor Grove — Decomposizione dell' acqua — Formazione dei cristalli per mezzo dell' elettricità voltaica — Incisione foto-galvanica — Conducibilità — Calore dell' elettricità voltaica. — Pesci elettrici.

L' elettricità voltaica o dinamica è generata per mezzo della forza d' azione chimica. Essa è connessa con alcuni de' più brillanti periodi della scienza britannica

per le splendide scoperte alle quali la condussero Davy e Faraday.

Nel 1790, mentre Galvani a Bologna stava facendo degli esperimenti sulla elettricità, fu maravigliato nel vedere dei moti convulsivi nei membri d'una rana morta, che casualmente giaceva vicino alla macchina durante una scarica elettrica. Sebbene un fatto simile fosse stato da lungo tempo indicato, Galvani fu tanto sorpreso da questo fenomeno curioso, che diligentemente esaminò tutte le circostanze, e alla fine ritrovò che le convulsioni avevano luogo quando i nervi e i muscoli di una rana erano connessi per mezzo d'un conduttore metallico. Questo suscitò l'attenzione dell'Europa tutta, e non passò molto che il Volta in Pavia dimostrò che il puro contatto di corpi differenti basta a turbare l'equilibrio elettrico, e che una corrente d'elettricità scorre in una determinata direzione per un circuito di tre sostanze conduttrici. Da questo egli fu condotto per acuti ragionamenti ed esperimenti alla costruzione della Pila Voltaica che nella sua prima forma consisteva in dischi alternantisi di zinco e di rame, separati da pezzi di tela umida, essendo le estremità unite con fili metallici. Questo semplice apparecchio, forse l'istromento il più maraviglioso che sia stato ritrovato dall'ingegno umano, spogliando la elettricità della sua subitanea ed irresistibile violenza, e somministrando con una corrente continuata una quantità maggiore ed una intensità diminuita ha presentato questa forza sotto una forma novella e maneggiabile, posseditrice dei poteri più maravigliosi ed inaspettati. L'espressione corrente non ha relazione ad un fluido che ora si considera incompatibile coi fenomeni sì della elettricità dinamica che statica. Fu dimostrato da Grotthus che la trasmissione della elettricità voltaica a traverso i liquidi, consiste in una serie di chimiche affinità, che agiscono in determinate direzioni, e Grove dall'esame delle loro azioni sulle varie specie di materia, è arrivato alla stessa con-

clusione. In fatti è ora generalmente accettata l' opinione che una corrente di elettricità è puramente una continua trasmissione di forza. Siccome la batteria voltaica è divenuta una delle macchine più importanti nelle ricerche fisiche, qualche cenno sull' attuale condizione di essa non può essere fuori di luogo.

Il disturbo dell' equilibrio elettrico ed uno svolgimento d' elettricità accompagnano invariabilmente l' azione chimica d' un fluido sopra le sostanze metalliche, e lo svolgimento è più copioso quando quest' azione produce l' ossidazione. I metalli variano nella quantità di elettricità somministrata per la loro combinazione coll' ossigeno, ma la massima copia è svolta per l' ossidazione dello zinco in debole acido solforico. E, conformemente alla legge che una sorta d' elettricità non può essere svolta senza che un' eguale quantità dell' altra sia portata in attività, si è ritrovato che l' acido è elettrizzato positivamente, e lo zinco negativamente. Non è stato ancora accertato perchè l' equilibrio non è ristabilito pel contatto di queste due sostanze che sono tutte e due *conduttori* ed in istati elettrici opposti. Nondimeno i cangiamenti elettrici e chimici sono tanto connessi, che se l' equilibrio non è ristabilito, l' azione dell' acido procederà lentamente, e si arresterà tosto che una certa quantità d' elettrico è accumulata in esso. L' equilibrio tuttavia sarà ristabilito, e l' azione continuerà, se una lastra di rame venga messa in contatto collo zinco, essendo ambedue immersi nel liquido: perocchè il rame non essendo modificato dall' acido, continuerà come conduttore a trasportare la elettricità positiva dall' acido allo zinco, e ad ogni istante ristabilirà l' equilibrio, e quindi l' ossidazione dello zinco procederà rapidamente. Così tre sostanze prendono parte per formare un circuito voltaico, ma è indispensabile che l' una di esse sia un liquido. L' elettricità così ottenuta sarà debolissima nel superare resistenze presentate da conduttori imperfetti frapposti nel circuito, o per lun-

ghissimi fili metallici, ma essa può essere aumentata crescendo il numero delle lastre. Nella comune batteria voltaica, l'elettricità che il liquido ha acquistato dalla prima lastra di zinco esposta alla sua azione, è presa dalla lastra di rame che appartiene al secondo paio, e la trasmette alla seconda lastra di zinco con la quale si ritrova congiunta. La seconda lastra di zinco che possiede eguali poteri e che agisce in conformità della prima, avendo così acquistata una più grande quantità di elettricità della sua porzione naturale, ne comunica una quantità maggiore al liquido del secondo recipiente. Questa quantità accresciuta è di nuovo trasportata al vicino paio di lastre, e così ogni successiva coppia produce un ulteriore aumento nella quantità d'elettricità svolta. Una tale azione per altro si arresterebbe, a meno che non fosse data una uscita all'accumulata elettricità, collo stabilire una comunicazione fra i poli positivo e negativo della batteria per mezzo di fili metallici attaccati all'estrema lastra ad ogni estremità. Quando i fili sono portati in contatto, il circuito voltaico è completo, le elettricità s'incontrano e si neutralizzano l'un l'altra, producendo la scossa e gli altri fenomeni elettrici, e quindi la corrente elettrica continua a scorrere senza interruzione nel circuito per quanto dura l'azione chimica. La corrente dell'elettricità positiva scorre dallo zinco al rame. La costruzione e il potere della batteria voltaica sono stati molto migliorati in questi ultimi anni, ma il miglioramento più stimabile si è la batteria costante del professor Daniell. In tutte le batterie di costruzione ordinaria il potere per quanto sia energico dapprima, diminuisce rapidamente, ed in ultimo diventa debolissimo. Daniell ritrovava che questa diminuzione di forze è cagionata dall'adesione alla superficie del rame dell'idrogeno sviluppato, e dalla precipitazione del solfato formato dall'azione dell'acido sullo zinco. Egli impedisce l'ultimo, interponendo fra il rame e lo zinco nel recipiente che contiene il liquido, una

membrana che senza impedire la corrente elettrica, si oppone al trasporto del sale, ed impedisce il primo mettendo fra il rame e la membrana una soluzione di solfato di rame, che essendo ridotto per l'idrogeno impedisce l'adesione di questo gas alla superficie metallica. Ogni elemento della batteria consiste di un cilindro vuoto di rame nel cui asse è posta una verga cilindrica di zinco: tra questo e il rame vi è messo un anello membranoso che divide il recipiente in due porzioni: la inferiore delle quali è piena di acido diluito, e la più vicina al rame è fornita di cristalli del solfato dell'istesso metallo. La batteria si compone di parecchi di questi recipienti elementari connessi insieme con fili metallici, le verghe di zinco dell'una col cilindro di rame di quella che le è vicina. Le verghe di zinco sono amalgamate in modo che l'azione locale che nei casi comuni è così distruttiva dello zinco, non ha luogo, e nessuna azione chimica si manifesta purchè il circuito sia completo. Le verghe si distaccano facilmente, e sono sostituite da altre, quando siano rese inservibili. Questa batteria che possiede forza considerevole ed è costante negli effetti suoi per un lunghissimo periodo di tempo, è superiore d'assai a tutte le disposizioni anteriori, sia come istrumento di ricerca, sia per presentare gli ordinari fenomeni della elettricità voltaica.

Una batteria, caricata d'acqua sola, invece di acido, è costantissima nella sua azione: se non che la quantità d'elettricità ch'essa svolge, è relativamente molto piccola. Cross di Broomfield nel Somersetshire ha tenuta una batteria di questa costruzione in piena forza per 12 mesi. Becquerel ha inventato un istromento per paragonare le intensità delle differenti sorte di elettricità per mezzo di pesi; ma siccome è impossibile paragonare la elettricità voltaica prodotta dalle batterie comuni a motivo della perpetua variazione alla quale la intensità della corrente va soggetta, egli ha costruito una batteria che

somministra una corrente continua d'elettricità di forza uniforme; ma essa è anche di forza debolissima. La corrente è prodotta dalla chimica combinazione d' un acido con un alcali.

Il contatto metallico non è necessario per la produzione della elettricità voltaica, che è tutta dovuta all' azione chimica. L'intensità di questa elettricità è in proporzione all' intensità delle affinità che hanno parte alla sua produzione, e la quantità prodotta è in proporzione alla quantità della materia che è stata chimicamente attiva durante il suo svolgimento. Faraday pensa che questa produzione definita sia una delle prove più patenti che l' elettricità è di origine chimica.

L' elettricità galvanica o voltaica si manifesta per due continue forze o correnti che passano in direzioni opposte a traverso il circuito: lo zinco è l'estremità positiva, o il polo positivo della batteria, e il rame il negativo.

L' elettricità voltaica è distinta per due caratteri notevoli. La sua intensità cresce col numero delle lastre; la quantità coll'estensione delle superfici di queste. La più intensa concentrazione della forza è spiegata per mezzo di una serie numerosa di larghe lastre: luce e calore sono copiosamente svolti, e la chimica decomposizione è eseguita con energia straordinaria; mentre l'elettricità da un paio di lastre, qualunque siasi la loro grandezza, è così debole che non dà segno nè d' attrazione, nè di ripulsione. L' elettricità comune o statica è di maggiore intensità, ed ha maggior forza a vincere la resistenza che la voltaica: se non che questa agisce sopra una più piccola quantità di materia. Nondimeno diminuendo la grandezza delle lastre, e crescendone il numero, la intensità d' una batteria può essere aumentata da divenire eguale a quella della macchina elettrica.

L' azione dell'elettricità voltaica differisce sotto alcuni

rispetti materialmente da quella della elettricità statica. Quando una quantità di elettricità comune è accumulata, il ristabilimento dell' equilibrio è ottenuto per una istantanea e violenta esplosione accompagnata da svolgimento di luce, calore e rumore. Il potere concentrato del fluido elettrico s' apre la via a viva forza attraverso ogni ostacolo, rompendo e distruggendo la coesione delle particelle dei corpi per i quali passa, e accrescendo all' occasione i suoi effetti distruttivi colla conversione dei liquidi in vapore, per l'intensità del momentaneo calore, come quando gli alberi sono ridotti in pezzi da un colpo di fulmine. Anche la vivida luce che segna il cammino del fluido elettrico è probabilmente dovuta in parte alla subitanea compressione dell' aria e alla rapidità del suo passaggio. Ma nell' istante che l' equilibrio è ristabilito per questa energica azione, il tutto ha fine. Al contrario quando un accumulamento ha luogo in una batteria voltaica, l' equilibrio è ristabilito al momento che il circuito è completo. Ma la elettrica corrente è tanto lontana dall' essere esausta, che essa continua a scorrere silenziosamente ed invisibilmente in una corrente non interrotta, fornita da una perpetua riproduzione. E sebbene la sua azione sui corpi non sia nè così intensa nè così subitanea come quella dell' elettricità comune, nondimeno acquista tale potere dalla costante accumulazione e dall' azione continuata, che in ultimo sorpassa l' energia dell' altra. Le due sorte di elettricità in nessuna circostanza differiscono di più che nello svolgimento del calore. Invece d' una momentanea evoluzione, la circolazione dell' elettricità voltaica è accompagnata da un continuo svolgimento di calore, che dura tanto che il circuito è completo, senza produrre o luce o rumore. La sua intensità da una potentissima batteria è maggiore che quella di qualsiasi calore che possa ottenersi da qualunque mezzo artificiale, così che si fondono sostanze che resistono all' azione de' più potenti fornelli. La temperatura d' ogni parte d' una bat-

teria voltaica istessa è alzata durante la sua attività. Col maggior numero di metalli, Grove ritrovò, che la estremità o polo positivo è più caldo che il polo negativo.

Secondo Joule la quantità di calore generato in un' unità di tempo è proporzionale alla forza della corrente; e quando una corrente galvanica è impiegata in analisi chimiche, il calore dell' intero circuito generato in un'unità di tempo è eguale al lavoro impiegato pel produrlo, meno il calore impiegato nell' analisi. Infatti, una corrente di elettricità non può passare a traverso un conduttore omogeneo senza generare calore nel vincere le resistenze; effetto provato da Joule essere proporzionale al quadrato della forza della corrente, e lo stesso in qualunque direzione possa la corrente scorrere. Ogni altra azione termica, che possa aver luogo deve dipendere dalla eterogeneità del circuito, e deve essere riferita alla corrente. Per esempio, se un semicerchio di bismuto è unito ad un semicerchio di antimonio, una corrente elettrica passando per esso, produce freddo ove la corrente passi dal bismuto nell' antimonio per assorbimento, e produce calore quando passi dall' antimonio al bismuto.

Il passaggio dell' elettricità da polo a polo è accompagnato da luce; ed in conseguenza della corrente continua, delle scintille si manifestano ogni volta che il contatto dei fili è o rotto o rinnovato; ma è necessaria una considerevole intensità onde rendere la elettricità atta a farsi via attraverso l' aria o i gas. Tanto la sua lunghezza che il calore sono modificati dalla densità del mezzo, pel quale passa. Se il mezzo sia gradatamente rarefatto, la scarica cresce da una scintilla ad un fuoco luminoso, differente di colore nei differenti gas, ma bianca nell' aria. Quando è moltissimo rarefatta, una scarica può esser fatta passare a traverso 6 o 7 piedi di spazio, mentre nell'aria alla ordinaria densità non è più lunga di un pollice. Nei gas rarefatti essa assomiglia all' au-

rora pe' suoi continui vampi. Quando la batteria è potente, gli effetti luminosi sono brillantissimi.

La più splendida luce artificiale conosciuta è prodotta da cilindri di carbone fissi all'estremità dei fili metallici di una pila, portati a contatto. Questa luce è rimarchevolissima, siccome quella che è indipendente dalla combustione, perchè il carbone non soffre alcun apparente cambiamento, e anche perchè è egualmente splendente in quei gas che non contengono ossigeno. Questo dipende dal collocamento delle molecole del carbone: imperocchè Grove osserva che « il carbone in uno stato trasparente cristallino, come il diamante, è, come sappiamo, un perfetto coibente, mentre in uno stato opaco amorfo, come la grafite o il carbone, è uno dei migliori conduttori: così in uno stato trasmette luce ed impedisce la elettricità, nell' altro trasmette la elettricità ed arresta la luce. È una circostanza degna di essere notata, che la disposizione delle molecole, che rende un solido capace di trasmettere luce, è sfavorevolissima alla trasmissione dell' elettricità, essendo i solidi trasparenti imperfettissimi conduttori della elettricità: così tutti i gas prontamente danno luce, ma sono tra i pessimi conduttori della elettricità, nè in realtà possono dirsi assolutamente conduttori. Il fatto che la struttura molecolare, o il collocamento d' un corpo determina il suo potere conduttore, non è ben messo in chiaro dalla teoria di un fluido; ma se la elettricità sia solo una trasmissione di forza o un moto, l' influenza dello stato molecolare è appunto ciò che dovrebbesi aspettare. »

Wheatstone fissando delle punte metalliche alle estremità dei fili o poli, ha ritrovato che l'apparenza dello spettro dell'arco voltaico o la viva fiamma che si vede tra le estremità d' una batteria dipende dal metallo da cui è presa la scintilla come nella elettricità statica. Lo spettro di quella del mercurio consiste di sette raggi definiti, separati l' uno dall' altro per intervalli oscuri: questi raggi

visibili sono due linee arance confinanti insieme, una lucida linea verde, due linee verdi turchiniccie vicino l'una all'altra, una porporina brillantissima e finalmente una linea azzurra. Accade il medesimo quando la scintilla passa attraverso il gas acido carbonico, il gas ossigeno, l'aria o il vuoto. La luce dello zinco, cadmio, stagno, bismuto e piombo in istato fuso dà risultati simili; ma il numero, la posizione, il colore delle linee variano tanto in ogni caso, e le apparenze sono tanto differenti, che i metalli possono essere facilmente distinti l'uno dall'altro con questo modo di ricerca. La scintilla elettrica è considerata da Angström come il prodotto di due spettri, l'uno appartenente al metallo e l'altro al gas pel quale passa la scintilla, e crede che la linea luminosa varii tanto col gas quanto col metallo. In uno spettro entro l'ossigeno, il massimo numero di linee lucide s'incontra nell'azzurro e nel violetto, nel nitrogeno, nel verde e nel giallo, nell'idrogeno, e nel rosso. Questi effetti necessariamente devono esser connessi colle proprietà chimiche e termiche dei gas.

Grove pensa che il colore dell'arco voltaico, o la fiamma che comparisce tra i poli d'una potentissima batteria dipendano dalla sostanza del metallo, donde deriva, e dal mezzo pel quale passa. La scintilla del zinco è azzurra, dell'argento è verde, del ferro è rossa e brillante, i quali sono precisamente i colori somministrati da questi metalli nella loro ordinaria combustione. Ma il colore varia ancora col mezzo pel quale passa la luce; perchè quando il mezzo è mutato, ha luogo una mutazione nel colore, manifestando la influenza della materia impiegata. Una porzione dei metalli che sono alla estremità, o poli, è realmente trasmessa in ogni scarica elettrica o voltaica; quindi Grove conchiude, che la scarica elettrica nasce, almeno in parte, da una reale ripulsione e separazione della materia elettrica istessa, che scappa via dai punti di minor resistenza. Egli osserva

che « i fenomeni appartenenti alla scintilla elettrica o all'arco voltaico tendono a modificare considerevolmente le nostre antecedenti idee sulla natura della forza elettrica, come produttrice di fiamma e combustione. L'arco voltaico, strettamente parlando, è forse nè ignizione nè combustione. Non è semplice ignizione, perchè la materia dell' estremità non è veramente portata ad uno stato di incandescenza, ma è fisicamente separata e trasportata parzialmente da un polo all' altro, dissipandosene molta in vapore. Non è una combustione, conciosiachè i fenomeni hanno luogo indipendentemente dall' aria atmosferica, dal gas ossigeno, o dagli altri corpi ordinariamente chiamati sostenitori della combustione: essendo la combustione infatti una unione chimica accompagnata da calore e luce. Nell' arco voltaico non si può avere una chimica unione, perchè se l' esperimento si compia in un recipiente senza aria, o nel nitrogeno, la sostanza che costituisce le estremità è condensata e precipitata sopra l'interno del vaso in uno stato inalterato, chimicamente parlando. Così, volendo prendere un esempio notevolissimo, se la scarica voltaica abbia luogo fra due estremità di zinco, in un recipiente vuoto, una polvere fine nera di zinco è depositata sulle pareti del recipiente, che può essere raccolta, e che prende fuoco prontamente nell' aria quando sia toccata coll' esca accesa, o con un metallo infiammato s'abbrucia istantaneamente, convertendosi in ossido bianco di zinco. Ad un osservatore comune parrebbe il zinco abbruciarsi due volte: prima nel recipiente, dove il fenomeno presenta tutta l' apparenza della combustione, e quindi nella reale combustione nell' aria. Col ferro l'esperimento è ugualmente istruttivo. Il ferro è volatilizzato dall' arco voltaico nel nitrogeno, o in un recipiente in cui si è fatto il vuoto, e quando una pellicola appena percettibile ha coperto il recipiente, se è lavato con un acido, allora dà col ferrocianuro di potassio un precipitato di bleu di Prussia. In questo caso prontamente si distilla il ferro,

metallo che coi mezzi ordinari è fusibile soltanto ad un' altissima temperatura. »

Un altro esempio che mostra evidentemente che la scarica voltaica consiste del materiale stesso onde sono composte le estremità, si è la singolare rotazione che è osservata nella luce, quando il ferro è impiegato: essendo il carattere magnetico di questo metallo cagione che le sue particelle ruotino per l' influenza della corrente elettrica. In breve, Grove conclude, che sebbene sarebbe presto l' asserire che la scarica elettrica decomponente non possa aver luogo mai senza che le estremità siano modificate, nondimeno egli non si è mai incontrato in alcun fatto che dia un simile resultato, purchè la scarica sia stata sufficientemente prolungata, e le estremità in tale condizione da potersi aspettare la manifestazione di leggieri cambiamenti.

Alcuni anni fa, Grove scoperse, che la scarica elettrica possiede certe fasi, o accessi, d' un carattere alternativo, formando anelli di alternativa ossidazione e disossidazione sulle superfici metalliche. Una lastra d' argento pulitissima, fu connessa entro una macchina pneumatica col polo d' una batteria induttiva, mentre un filo metallico fine, od anche un ago da cucire comune, era fissato all'altro polo, e messo in modo da essere perpendicolare alla lastra d' argento, e vicinissimo, ma non in contatto. Per mezzo di questo apparecchio la scarica elettrica poteva essere mandata a traverso a qualunque sorta di mezzo rarefatto. In alcuno degli esperimenti, una serie di anelli colorati concentrici di ossido, alternantisi con anelli d' argento pulito o non ossidato, sono formati sulla lastra sotto la punta dell' ago o del filo. Quando la lastra era anticipatamente vestita d' una pellicola di ossido, questo veniva rimosso in spazi concentrici dalla scarica, ed aumentato in quelli alternanti, dimostrando una elettricità positiva e negativa, ovvero un' elettricità di carattere opposto nella stessa scarica.

Quando l'argentea lastra era pulita, il centro degli anelli formati in essa era giallo-verdastro attorniato da bleu-verdastro; allora un anello d'argento nitido era seguito da un anello cremisi con debole arancio sul lato interno, e porpora cupa sull'esterno e per ultimo una indicazione d'un anello pulito. Quando la macchina pneumatica era piena di gas rarefatto, gli anelli erano precisamente gli stessi come quelli veduti nelle lastre sottili: quindi l'effetto è lo stesso come se fosse prodotto dalle interferenze della luce. In questi esperimenti l'apparenza luminosa estendevasi da tre quarti d'un pollice ad un pollice attorno alla punta dell'ago o del filo.

Quando la lastra d'argento fu connessa col polo negativo della batteria, un punto nitido apparve sopra di essa dirimpetto all'ago, circondato da un'aureola mal definita cupa, di un color di bronzo tinto di porpora, veduto in una direzione, e bianco-verdiccio in altra. Nell'anno presente Gassiot, vice-presidente della Società Reale, ha dimostrato, che il carattere a strati della scarica elettrica è segnatamente sviluppato nel vuoto torricelliano. Fra i vari esperimenti fatti da questo scienziato due si possono scegliere che illustrano stupendamente questa nuova e singolare proprietà della luce elettrica.

In un tubo di cristallo chiuso, di circa un pollice di diametro interno e lungo 38, nel quale si fece il vuoto, furono rinchiusi ermeticamente due fili di platino, e connessi con i poli di una batteria induttiva. L'apparenza luminosa ai due poli fu differentissima, quando l'elettricità passava per i fili. Un punto infuocato circondava il polo negativo, e molto vicino ad esso compariva uno spazio nero ben definito, mentre dal polo o filo positivo la luce procedeva in una corrente, se non che a meno che la carica fosse grande, o il tubo corto, la corrente non si estendeva alla fascia nera, la quale era totalmente diversa dallo spazio rimanente. Quando le scariche elettriche erano dirette a traverso il tubo vuoto,

una serie di striscie, o stratificazioni, si formavano col loro concavo verso il polo positivo, e siccome nei cangiamenti, nel formare e rompere il circuito la elettricità emana da estremità o fili diverse, la concavità delle stratificazioni erano in opposte direzioni.

Se invece di platino, dei fili vestiti di sottil foglia di stagno sono messi intorno l'esterno del tubo di cristallo, e connessi con i fili della batteria, delle stratificazioni brillanti riempiono l'interno del tubo tra le foglie vestienti, ma non comparisce nessuna fascia nera. Ora Gassiot è inclinato a credere che la striscia nera si debba all' interferenza, ma che le stratificazioni derivino dalle pulsazioni, o dagli impulsi d' una forza attiva in un mezzo molto assottigliato, ma resistente, perocchè con la migliore macchina pneumatica ancora non è possibile ottenere un vuoto perfetto. Egli s'occupa tutt'ora esperimentando su questo nuovo soggetto, e non vi ha dubbio che non sia per avere risultati importantissimi, niuno dei quali può essere più straordinario che la sua scoperta dell'influenza potente del ferro magnetico sulla luce elettrica. Le stratificazioni sono formate in rapida successione nel tubo coi fili di platino, e sono avvolte in diversi modi, ma possono essere separate ad ogni parte del tubo per i poli di un ago magnetico, attorno al quale tutte le stratificazioni tendono a girare. Nel secondo esperimento nel quale è usata la foglia di stagno, la scarica è divisa in due per mezzo del polo di un ago magnetico, e le due parti hanno tendenza a girare attorno ad esso in contrarie direzioni.

L' elettricità voltaica è un agente potentissimo per l' analisi chimica. Quando vien trasmessa attraverso conduttori liquidi, li separa nelle loro parti costituenti che essa trasporta in uno stato invisibile a traverso uno spazio considerevole o grande quantità di liquido ai poli dove essi si manifestano. Esempi numerosi possono addursi, ma la decomposizione dell' acqua è forse il più elegante ed il

più semplice. Suppongasi un tubo di vetro pieno d'acqua e turato alle due estremità: se uno dei fili metallici di una batteria voltaica attiva sia fatto passare a traverso un turacciolo, e l'altro a traverso l'altro turacciolo nell'acqua, in modo che l'estremità dei due fili siano opposte e circa a un quarto di pollice di distanza, avrà luogo immediatamente l'azione chimica, e il gas continuerà ad alzarsi dall'estremità dei due fili finchè l'acqua sarà decomposta. Se una scintilla elettrica è mandata allora a traverso il tubo, l'acqua ricomparirà. Disponendo l'esperimento in modo da avere separatamente il gas emesso da ogni filo, si ritrova che l'acqua consiste di due volumi d'idrogeno e di uno d'ossigeno. L'idrogeno è emesso al filo positivo della batteria, e l'ossigeno al negativo. Gli ossidi pure sono decomposti: l'ossigeno apparisce al polo positivo, ed il metallo al negativo. La decomposizione degli alcali e delle terre fatta da Davy formò un'era importante nella storia della scienza. La soda, la potassa, la calce, la magnesia e le altre sostanze per l'avanti considerate come corpi semplici, incapaci di decomposizione, furono risolute dall'attività elettrica, nelle loro parti costituenti, e fu così dimostrato dall'illustre fisico che erano ossidi metallici. Tutti i cangiamenti chimici prodotti dall'elettricità si compiono sullo stesso principio; e si vede in generale che le sostanze combustibili, i metalli e gli alcali si portano al filo negativo, mentre gli acidi e l'ossigeno sono portati al positivo. Il trasporto di queste sostanze ai poli non è l'effetto meno maraviglioso della batteria voltaica: Sebbene i poli siano ad una distanza considerevole l'uno dall'altro, anche in vasi separati, se una comunicazione sia solo stabilita da un poco di refe umido, appena procede la decomposizione, le parti componenti passano pel refe in uno stato invisibile, e si collocano da loro stesse ai rispettivi poli. Secondo Faraday, la decomposizione elettro-chimica è semplicemente un caso della preponderanza d'una serie d'affinità chimiche più

potenti nella loro natura sopra un'altra serie meno potente. E nell' azione elettro-chimica d' una specie prodotta da una corrente continua, la somma dell' azione in un dato tempo è approssimativamente se non rigorosamente proporzionale alla forza della corrente. La grande efficacia dell' elettricità voltaica nelle decomposizioni chimiche deriva non nella sua tensione ma dalla continuazione della sua azione, e la sua attività apparisce esercitarsi più sui liquidi e sulle sostanze, che conducendo l'elettricità parzialmente ed imperfettamente, ne impediscono il progresso. Ma ora è stato dimostrato essere essa efficace così nella composizione come nella decomposizione o analisi dei corpi.

È stato osservato che quando le soluzioni metalliche sono assoggettate all' azione galvanica, una deposizione di metallo qualche volta in forma di minuti cristalli, ha luogo sul filo negativo. Estendendo questo principio ed usando una debolissima azione voltaica, Becquerel è arrivato a formare cristalli di sostanze minerali di una grande proporzione, precisamente simili a quelli prodotti dalla natura. Lo stato elettrico delle vene metalliche rende probabile che molti cristalli naturali possano aver presa la loro forma dall' azione dell' elettricità che porta le loro particelle elementari, quando sono in soluzione, dentro la stretta sfera della molecolare attrazione. Tanto la luce che il moto favoriscono la cristallizzazione. I cristalli che formansi in differenti liquidi sono generalmente più abbondanti sul lato della bottiglia esposto alla luce; ed è ben noto che l' acqua calma, fredda sotto 32° Fahrenheit si solidifica in cristalli di ghiaccio all' istante che viene agitata. Una debole azione è solo necessaria, purchè sia continuata per un tempo sufficiente. I cristalli formati rapidamente sono d' ordinario imperfetti e molli, e Becquerel ritrovava che anche degli anni di costante azione voltaica sono necessari per la cristallizzazione di alcune delle più dure sostanze. Se questa

legge è generale, quanti secoli debbono richiedersi per la formazione d' un diamante !

La deposizione del metallo da una soluzione metallica per l' elettricità galvanica è stata con grandissimo successo applicata all' arte dell' inargentare e dell' indorare, così come ai più delicati processi di copiare medaglie e stampe di rame. Infatti non solo medaglie, ma ogni oggetto d' arte o di natura può essere vestito da un metallo precipitato; purchè sia stato in prima coperto da pellicola finissima di piombaggine che rende un non-conduttore abbastanza conduttore per ricevere il metallo. L' incisione foto-galvanica posa su questo principio. La gelatina mista col bicromato di potassa, nitrato di argento e joduro di potassio, si spande sopra una lastra di cristallo, e quando è asciutta, un' impressione positiva vi si soprappone con la faccia in giù, la quale esposta al sole vi lascia la sua impressione. Quando la gelatina è stata imbevuta d' acqua, gonfia attorno a tutte quelle parti dove è caduta la luce, formando così un intaglio o una impronta la quale vien presa in gutta-percha, che è coperta di rame con un processo elettrico, e quindi si ottiene una lastra in rilievo di rame.

L' elettricità statica a motivo della sua alta tensione passa attraverso l' acqua ed altri liquidi tosto che essa è formata, qualunque possa essere la lunghezza del suo corso. La elettricità voltaica, al contrario, è indebolita dalle distanze ch' essa deve attraversare. L' acqua pura è un pessimo conduttore, ma il ghiaccio arresta totalmente una corrente d' elettricità voltaica, qualunque possa essere la forza della batteria, sebbene l' elettricità comune abbia una forza sufficiente per superare la resistenza del ghiaccio. Faraday ha scoperto che questa proprietà non è peculiare all' acqua, che con poche eccezioni i corpi che non conducono elettricità, quando sono solidi, acquistano questa proprietà, e sono immediatamente decomposti, quando diventano liquidi, ed in

generale che la decomposizione ha luogo tosto che la soluzione acquista la capacità di condurre: il che l'ha indotto a sospettare che il potere conduttivo possa solo essere una conseguenza della decomposizione.

Il calore aumenta la forza conduttiva di alcune sostanze per l'elettricità voltaica, e dei gas per tutte e due le specie di elettricità. Faraday ha dato una nuova prova della connessione fra il calorico e l'elettricità, dimostrando che in generale quando un solido, non metallo: diventa liquido, è quasi interamente spoglio del suo potere di condurre il calorico, mentre acquista una capacità per condurre la elettricità in alto grado. Becquerel riguarda la produzione del calore e quella dell'elettricità come concomitanti, essendo la loro dipendenza tale, che quando l'uno cresce l'altra diminuisce, e viceversa, così che l'uno può totalmente sparire coll'aumento dell'altra. Per esempio, quando l'elettricità circola in un filo metallico, tanto maggior calore produce, quanto meno elettricità passa, e al contrario: così che la cosa procede come se la elettricità fosse convertita in calore, e questo in elettricità. Di più, in un circuito galvanico chiuso, la somma del calore prodotto nell'azione chimica dell'acqua acidulata sopra lo zinco, e nel filo conduttore è costante, di modo che la quantità di calore sviluppato nella reazione è maggiore in proporzione, quanto meno elettricità passa per il filo. Queste ed altre circostanze dimostrano una tale intima connessione tra la produzione del calore e dell'elettricità, che nel cambio di condizione delle sostanze, gli effetti elettrici possono scomparire od essere annullati dagli effetti del calore.

La corrente galvanica impressiona tutti i sensi; nulla può essere più sgradito della scossa, che può ancora essere fatale se la batteria è molto potente. Uno sprazzo brillante di luce è veduto ad occhi chiusi, quando uno de' fili metallici tocca il volto e l'altro la mano. Toccando l'orecchio con un filo, e tenendo l'altro in

mano, si odono strani romori; e sentesi un sapore acido se il filo positivo è applicato sulla punta della lingua ed il negativo tocca qualch' altra parte di essa. Rovesciando i poli, il sapore diventa alcalino. L' istesso fluido galvanico rende più intensa la pallida luce della lucciola. Gli animali morti per asfissia da non lungo tempo sono scossi come se ritornassero in vita, e si può per ultimo provare essere il detto fluido la causa dell' azione muscolare negli animali viventi.

Parecchi pesci posseggono la facoltà di produrre effetti elettrici. I più notabili sono il Gymnotus electricus trovato nell' America Meridionale, e la Torpedine, specie di Razza, frequente nel Mediterraneo. L' azione elettrica della Torpedine dipende da un apparecchio apparentemente analogo alla pila voltaica, che l' animale ha il potere di caricare a volontà; componendosi di colonne membranacee piene attraverso di lamine separate l' una dall' altra da un fluido. La quantità assoluta dell' elettricità portata in circolazione dalla Torpedine è così grande, che è sufficiente per la decomposizione dell' acqua, basta a rendere magnetico il ferro, dà scosse fortissime, e la scintilla elettrica. Questa elettricità è identica in natura con la galvanica, l' elettricità della superficie inferiore del pesce essendo la stessa di quella del polo negativo, e quella della superiore, del polo positivo. La sua maniera d' agire è contuttociò cosa differente, perocchè, sebbene lo svolgimento dell' eletricità sia continuato per un tempo sensibile, esso è interrotto, perchè comunicato da una successione di scariche.

SEZIONE XXX.

Scoperta dell' elettro-magnetismo — Declinazione dell' ago magnetico per mezzo di una corrente elettrica — Direzione della forza — Movimento rotatorio operato dalla elettricità — Rotazione di un filo metallico e d' una calamita — Rotazione d' una calamita attorno al suo asse — Rotazione del mercurio e dell' acqua — Cilindro elettro-magnetico od elice — Sospensione di un ago nell' elice — Induzione elettro-magnetica — Calamita temporaria — Galvanometro.

Gli effetti perturbatori dell' aurora boreale e del fulmine sulla bussola sono stati riconosciuti da lungo tempo. Nel 1819 Oersted, professore di Fisica a Copenagen, scoperse che una corrente di elettricità voltaica esercita un' influenza grande sull' ago magnetico. Questa osservazione ha dato origine alla teoria dell' elettro-magnetismo, che è una delle scienze più interessanti de' tempi moderni, quando sia considerata siccome quella che ci conduce un passo più avanti nella generalizzazione, identificando due agenti sino a qui riferiti a cause differenti, o come quella che disviluppa una nuova forza che non ha l' uguale nel sistema del mondo; forza che, superando il ritardo dell' attrito e l' ostacolo d' un mezzo resistente mantiene un moto perpetuo tanto lungo quanto dura l' azione d' una batteria voltaica.

Quando due poli d' una batteria voltaica sono connessi per un filo metallico in modo da compire un circuito, l' elettricità scorre senza posa. Se una porzione retta di questo filo sia posta parallelamente ed orizzontalmente al di sopra di un ago magnetizzato in quiete lungo il meridiano magnetico, ma liberamente sospeso come nella bussola, l' azione della corrente elettrica che scorre per il filo metallico obbligherà istantaneamente l' ago a cangiare la sua posizione. La estremità dell' ago devierà dal nord all' est od all' ovest, secondo la dire-

zione nella quale la corrente scorre, e rovesciando la direzione della corrente, il moto dell' ago sarà pure rovesciato. I numerosi esperimenti che si son fatti sull' elettricità e sul magnetismo egualmente che quelli sui moti relativi d' un ago magnetico sotto l' influenza della elettricità galvanica, che nascono da tutte le possibili combinazioni del filo conduttore e da ogni direzione della corrente voltaica insieme con tutti gli altri fenomeni di elettro-magnetismo, sono spiegati dal dottor Roget in alcuni eccellenti articoli sopra questi soggetti nella Biblioteca delle Cognizioni Utili.

Tutti gli esperimenti tendono a provare che la forza che emana dalla corrente elettrica e che produce questi effetti sull' ago magnetico, agisce ad angoli retti sulla corrente. L' azione di una corrente elettrica sopra l' uno o l' altro polo d' una calamita, non ha tendenza a fare che il polo s' accosti o s' allontani, ma che ruoti intorno ad essa. Se la corrente elettrica sia supposta passare per il centro d' un cerchio il cui piano sia perpendicolare alla corrente, la direzione della forza esercitata dall' elettricità sarà sempre nella tangente al cerchio o ad angoli retti al raggio (N. 223): conseguentemente la forza tangenziale dell' elettricità ha una tendenza a fare che il polo d' un ago calamitato si muova in un cerchio attorno al filo metallico della batteria.

Il moto rotatorio fu indicato da Wollaston. Faraday fu il primo che realmente riuscì a far girare il polo d' un ago magnetico attorno un filo metallico conduttore verticale. Affine di limitare l' azione dell' elettricità ad un polo solo, circa due terzi d' un piccolo ago calamitato sono immersi nel mercurio, essendo l' estremità più bassa fermata per mezzo d' un refe al fondo del vaso che contiene il mercurio. Quando l' ago magnetico galleggiava quasi verticalmente col suo polo nord sopra la superficie, una corrente d' elettricità positiva fu fatta discendere perpendicolarmente per un filo metallico che toccava il

mercurio ed immediatamente l' ago cominciò a ruotare da sinistra a destra attorno al filo. La forza essendo uniforme, la rotazione era accelerata sino a che la forza tangenziale fu bilanciata dalla resistenza del mercurio; allora essa divenne costante. Sotto le stesse circostanze il polo sud dell' ago ruota da diritta a sinistra. Egli è evidente da questo esperimento che il filo metallico può essere ancora fatto girare attorno la calamita; poichè l' azione della corrente elettrica sul polo della calamita deve necessariamente essere accompagnata da una corrispondente reazione del polo della calamita sull' elettricità del filo. Questo esperimento è stato eseguito con un gran numero di ritrovati diversi, ed una piccola batteria composta di due lastre ha pure prodotta la rotazione. Faraday ottenne ambedue i moti al tempo stesso in un vaso contenente mercurio: il filo e la calamita rivolgevansi in una direzione attorno un centro comune di movimento, l' uno seguendo l' altro. Il secondo passo fu di far girare una calamita ed anche un cilindro attorno il loro asse, il che fecero con grande rapidità. Il mercurio si è fatto girare per mezzo della elettricità voltaica, e il prof. Ritchie ha mostrato nel Reale Istituto lo spettacolo singolare della rotazione dell' acqua con gli stessi mezzi, mentre il vaso che la conteneva stavasi fermo. L' acqua era in un doppio cilindro di vetro, ed essendosi fatta il conduttore dell' elettricità, fu veduta girare in vortice regolare, cangiando la sua direzione quando i poli della batteria erano alternativamente rovesciati. Ritchie ritrovava che tutti i differenti conduttori sino a qui provati da lui, come l' acqua, il carbone di legna ec., davano gli stessi risultati elettromagnetici, quando trasmettevano la stessa quantità di elettricità, e che deviano l' ago magnetico in grado eguale, quando gli assi loro respettivi di conduzione erano alla stessa distanza dall' ago stesso. Ma uno de' più straordinari effetti di questa forza è presentato dal

raggomitolare un filo di rame in modo da formarne una elice, ossia un cavatappi, e connettendo l' estremità dei fili coi fili d' una batteria galvanica. Se una sbarra od un ago d' acciaio magnetizzato è situato dentro un' elice in modo che riposi sopra la parte più bassa, all' istante che una corrente elettrica è mandata per il filo dell' elice, la sbarra d' acciaio s' alza su per l' influenza di questo potere invisibile e rimane sospesa in aria contrariamente alla forza di gravitazione (N. 224). L' effetto del potere elettro-magnetico esercitato per ogni giro del filo è di spingere il polo nord della calamita in una direzione ed il sud nell' altra. La forza così esercitata è moltiplicata per gradi ed ingrandita in estensione per ogni ripetizione dei giri del filo, ed in conseguenza di queste forze contrarie la sbarra rimane sospesa. Questa elice ha tutte le proprietà di una calamita mentre la corrente elettrica scorre per essa, e può essere usata come una calamità in quasi tutti gli esperimenti. Essa agisce come se avesse un polo nord ad un' estremità ed un polo sud all' altra, ed è attratta e respinta dai poli d' una calamita esattamente come se essa lo fosse. Tutti questi risultati dipendono dal corso dell' elettricità, cioè dalla direzione dei giri dell' elice, secondo che è da diritta a sinistra o all' opposto, essendo contrari nei due casi.

L' azione dell' elettricità voltaica sopra una calamita è non solo precisamente la stessa con l' azione di due calamite l' una sopra l' altra, ma la sua influenza nel produrre magnetismo temporario nel ferro e nell' acciaio è ancora la stessa rispetto la induzione magnetica. Il termine induzione, quando vien applicato alle correnti elettriche, esprime il potere che queste correnti posseggono d' indurre uno stato particolare sopra la materia nella loro immediata vicinanza, altrimenti neutra o indifferente. Per esempio, il filo connettente d' una batteria galvanica tiene la limatura di ferro sospesa come una calamita artificiale sino a tanto che la corrente continua

a scorrere per esso: il ferro diventa magnetico per l'induzione della corrente. Le calamite temporarie più potenti che siano mai state fatte, si sono ottenute col piegare un grosso cilindro di ferro dolce in forma d'un ferro da cavallo, circondandolo con un giro di grosso filo di rame coperto di seta per impedire la comunicazione tra le sue parti. Quando questo filo forma parte del circuito galvanico, il ferro diventa sì altamente magnetico per l'induzione della corrente che scorre attraverso il filo, che una calamita temporaria di questa sorta fatta dal prof. Henry dell'Accademia d'Albany negli Stati Uniti, sosteneva quasi il peso d'una tonnellata. Un'altra è stata applicata da Gage con notevole successo come motore: la sua scintilla è una striscia lucente, ed il rumore del colpo così forte come di una pistola. Ma la più potente fra le conosciute è quella impiegata da Joule ne'suoi esperimenti, che sosteneva un peso di 2,080 libbre. Il ferro perde il suo magnetismo all'istante che l'elettricità cessa di scorrere, e l'acquista di nuovo appena che è rinnovato il circuito.

L'azione d'una corrente elettrica produce una deviazione della bussola dal piano del meridiano magnetico. In ragione che l'ago si allontana dal meridiano, la intensità della forza del magnetismo terrestre cresce, mentre al tempo stesso la forza elettro-magnetica diminuisce; il numero dei gradi al quale si ferma l'ago, dimostrando dove l'equilibrio tra queste due forze ha luogo, indicherà l'intensità della corrente galvanica.

Il galvanometro costrutto sopra questo principio è usato per misurare la intensità delle correnti galvaniche raccolte e trasportate in esso per mezzo dei fili metallici. Questo istromento è reso molto più sensibile neutralizzando gli effetti del magnetismo terrestre sull'ago; il che si ottiene mettendo un secondo ago magnetizzato, in modo da contrariare l'azione della terra sul primo, precauzione richiesta in tutti gli esperimenti magnetici delicati.

Si è riconosciuto per mezzo di questo istrumento che l' azione d' una corrente elettrica sopra una calamita è in ragione inversa del quadrato della distanza, e l' energia con che un elettro-calamita agisce, è in ragion diretta del potere della batteria galvanica e del numero delle coppie attorno il fusto, e in ragione inversa come la resistenza del filo.

SEZIONE XXXI.

Elettro-dinamica — Azione reciproca delle correnti elettriche — Identità dei cilindri elettro-dinamici e delle calamite — Differenza fra l' azione dell' elettricità voltaica e quella di tensione — Effetti d' una corrente voltaica — Teoria di Ampère — Esperimento di Faraday nell' elettrizzare e nel magnetizzare un raggio di luce.

La scienza dell' elettro-magnetismo che deve rendere il nome di Oersted memorabile per sempre, si riferisce all' azione reciproca delle correnti elettriche e magnetiche. Ampère scoprendo l' azione mutua delle correnti elettriche l' una sull' altra, ha aggiunto un novello ramo al soggetto, al quale egli ha dato nome di elettro-magnetismo.

Quando le correnti elettriche passano per due fili metallici conduttori così sospesi o sostenuti da potersi muovere ambedue l' un verso l' altro e lungi l' un dall' altro, mostrano la loro mutua attrazione o repulsione, secondo che le correnti scorrono nelle stesse o in contrarie direzioni, variando i fenomeni con le relative inclinazioni e posizioni delle correnti elettriche. La mutua azione di queste correnti, se scorrono nelle direzioni stesse o contrarie, se sono parallele, perpendicolari, divergenti, convergenti, circolari o elicoidi, tutte producono differenti specie di movimento in un filo conduttore tanto rettilineo che circolare, ed anche portano la rotazione d' un filo ad elice tale come quello descritto, ora chiamato cilindro elet-

tro-dinamico a motivo di qualche miglioramento nella sua costruzione (N. 225). E siccome l'ipotesi d'una forza che varia inversamente come i quadrati delle distanze va di perfetto accordo con tutti i fenomeni osservati, questi movimenti sottostanno alle stesse leggi dinamiche ed analitiche, come ogni altro ramo della fisica.

I cilindri elettro-dinamici agiscono l'uno sull'altro, precisamente come se fossero calamite, durante il tempo in cui l'elettricità scorre per essi. Tutti gli esperimenti che possono farsi col cilindro possono essere eseguiti con una calamita. L'estremità del cilindro nel quale la corrente di elettricità positiva si muove in una direzione simile al movimento dell'indice d'un orologio, agisce come il polo sud d'una calamita, e l'altra estremità, nella quale la corrente scorre in una direzione contraria, presenta la polarità nordica.

I fenomeni indicano una differenza molto decisa tra l'azione dell'elettricità in movimento od in riposo, cioè tra l'elettricità voltaica e la comune: le leggi da esse seguite sono sotto molti rispetti d'una natura interamente diversa, quantunque le elettricità stesse siano identiche. Poichè l'elettricità voltaica scorre perpetuamente, essa non può accumularsi, e per conseguenza non ha tensione o tendenza a scappar via dai fili che la conducono. Nè questi fili o attraggono o respingono i corpi leggieri in vicinanza, mentre l'elettricità ordinaria può essere accumulata in corpi isolati in alto grado, e in quello stato di quiete la tendenza a scappar via è proporzionale alla quantità accumulata e alla resistenza che incontra. Nella elettricità ordinaria la legge di azione si è, che elettricità dissimili s'attraggano, le simili si respingano l'una l'altra. Nell'elettricità voltaica al contrario correnti simili, ossia quelle che si muovono nella stessa direzione, s'attraggono mutuamente, mentre una mutua ripulsione è esercitata tra correnti dissimili o tali che scorrono in opposte direzioni. L'elettricità

comune scappa via quando la pressione dell' atmosfera è allontanata, ma gli effetti elettro-dinamici sono gli stessi, se i conduttori siano nell' aria o nel vuoto.

Gli effetti prodotti da una corrente d' elettricità dipendono dalla velocità del suo movimento per un filo conduttore. Nondimeno ignoriamo se il movimento sia uniforme o variato: ma il metodo di trasmissione ha una notevole influenza sui risultati; perocchè, quando essa scorre senza intermissione, produce una deviazione nell' ago magnetico, ma non ha effetto di sorta, quando il suo movimento non è continuo o interrotto, come la corrente prodotta dalla macchina elettrica comune quando una comunicazione è fatta tra i conduttori positivo e negativo.

Ampère ha stabilito una teoria d' elettro-magnetismo suggerita dall' analogia tra i cilindri elettro-dinamici e le calamite, fondata sopra l' attrazione reciproca delle correnti elettriche alla quale egli riferisce tutti i fenomeni di magnetismo e di elettro-magnetismo, sostenendo che le proprietà magnetiche che i corpi posseggono, derivano dalle correnti elettriche che circolano in ogni parte in una direzione uniforme. Sebbene ogni particella d'una calamita possegga simili proprietà con il tutto, nondimeno l' effetto generale è lo stesso come se le proprietà magnetiche fossero confinate alla superficie. Conseguentemente Ampère conclude che le interne correnti elettriche devonsi compensare a vicenda, e per questo il magnetismo d'un corpo deve perciò derivare da una corrente superficiale elettrica che costantemente circola in una direzione perpendicolare all' asse della calamita, così che l' azione reciproca delle calamite e tutti i fenomeni dell' elettro-magnetismo sono ridotti all' azione e reazione di correnti elettriche superficiali che agiscono ad angoli retti sulla loro direzione. Nonostante gli esperimenti fatti da Ampère per dilucidare l' argomento, vi è sempre un' incertezza nella teoria dell' induzione del magnetismo prodotta da

una corrente elettrica sopra un corpo vicino. Non si conosce se le correnti elettriche che anteriormente non esistevano, siano prodotte realmente dall' induzione, o se l'effetto di questa sia solo di dare una direzione uniforme al numero infinito di correnti elettriche anteriormente esistenti nelle particelle del corpo, e di renderle così capaci di presentare fenomeni magnetici nel modo stesso che la polarizzazione riduce ad un solo piano quelle ondulazioni di luce che anteriormente si compievano in ogni piano. È possibile che l' una cosa e l' altra si combinino nel produrre l' effetto: perocchè l' azione d' una corrente elettrica può non solo dare una direzione comune a quelle ch' esistono, ma può ancora accrescerne l'intensità. Comunque possa questo essere, ritenendo che l' attrazione e la ripulsione dell' elementari porzioni di correnti elettriche variano inversamente come i quadrati delle distanze, essendo l' azione ad angoli retti alla direzione della corrente, si è ritrovato che l' attrazione e la ripulsione d' una corrente di lunghezza indefinita sulla porzione elementare d' una corrente parallela a qualunque distanza dalla stessa, è nella ragione semplice della distanza più corta tra di loro. Per conseguenza l' azione reciproca delle correnti elettriche è ridotta alla composizione e alla risoluzione delle forze; così che i fenomeni di elettro-magnetismo sono portati sotto le leggi della meccanica per mezzo della teoria di Ampère. È manifesto che l' esperimento notevolissimo di Faraday, di elettrizzare e magnetizzare un raggio di luce polarizzata, possa probabilmente somministrare una dimostrazione della realtà della spiegazione di Ampère intorno alla vera natura del magnetismo.

In questo esperimento un filo di rame lungo 504 piedi era disposto in quattro spirali concentriche, l'estremità delle quali erano connesse coi poli d' una potente batteria galvanica, e un prisma pulito di pesante cristallo, o boro-silicato di piombo era posto nell' asse

della spirale come un fusto, per la lunghezza od asse del quale fu mandato un raggio di luce polarizzata. Questo raggio veduto a traverso un pezzo di tormalina o un oggettivo di Nichel, scomparisce e ricomparisce come d'ordinario ad ogni quarto di rivoluzione dell'oggettivo, ma quando una corrente elettrica è mandata traverso lo spirale nel tempo che il raggio è scomparso, all'istante ricomparisce, e vi rimane tanto quanto dura la corrente a scorrere, ma all'istante che l'elettricità cessa, svanisce la luce, e quante volte la corrente elettrica scorre per la spirale, o viene interrotta, tante volte il raggio polarizzato comparisce o svanisce.

Il carattere della forza così impressa nel cristallo pesante è quello della rotazione, perciocchè il fermarsi o il rinnuovarsi della corrente elettrica ha l'effetto istesso, che il movimento rotatorio dell'oggettivo nel fare alternativamente apparire e scomparire la luce. In conseguenza Faraday ritrovava che, quando la elettricità scorreva per la spirale in una direzione, la rotazione del piano di polarizzazione era a destra, e quando scorreva nell'altra direzione, la rotazione del detto piano era a sinistra, crescendo con la lunghezza del prisma e la intensità dell'elettricità. Gli stessi fenomeni erano prodotti da una potentissima calamita, se un raggio di luce polarizzata era mandato a traverso il cristallo pesante, parallelo alla linea della forza magnetica.

Il cristallo pesante o boro–silicato di piombo ha la proprietà più che alcun'altra sostanza di fare ruotare la luce sotto l'influenza elettrica e magnetica, ma molte sostanze hanno, più o meno, tale proprietà, come il *flint* e il *grown glass,* il sal gemma, tutti gli olii fissi ed essenziali, l'acqua e molti altri liquidi, ma niuno dei gas la possiede. In quelle sostanze che hanno il potere della polarizzazione naturalmente, le influenze elettrica e magnetica crescono o diminuiscono la rotazione secondo la loro direzione.

Il calore polarizzato si fa girare nel modo stesso se il mezzo pel quale passa è soggetto alla magnetica influenza.

Grove osserva che se la luce e il calore sono semplicemente forme di forza, la qual cosa havvi ogni ragione di credere che sia, si può francamente pensare che in questi esperimenti il magnetismo influisca in queste forze direttamente, poichè luce e calore essendo, conforme a questo modo di vedere, movimenti della comune materia, il magnetismo agendo su questi moti, agisce sulle forze che li producono. Se, nondimeno, questo effetto del magnetismo fosse un cangiamento molecolare della materia che trasmette la luce e il calore, allora ne seguirebbe che la luce e il calore, sono indirettamente modificati dal magnetismo e dalla elettricità. Faraday dice che le forze magnetiche non agiscono sui raggi di luce direttamente, senza l'intervento della materia, ma per mezzo della sostanza, nella quale esse e il raggio hanno una esistenza simultanea, le sostanze e le forze dando e ricevendo il potere di agire sulla luce. Il dott. Thomson ha dimostrato matematicamente, investigando questo soggetto, che la scoperta di Faraday sembra confermare la verità della spiegazione di Ampère sulla vera natura del magnetismo. Però nella teoria d'Ampère, la corrente dell'elettricità scorrendo attorno il ferro, lo rende una calamita permanente, ma questo non succede pel *flint glass* o per altri corpi che hanno la stessa proprietà di essere calamite temporarie quando la luce ruota in essa, o calamite permanenti quando cessa l'azione induttiva della corrente elettrica. Quindi la condizione molecolare delle sostanze quando la luce ruota in esse, deve essere specificamente distinta da quella del ferro magnetizzato: questa pertanto deve essere una novella condizione magnetica, e la forza che la materia possiede in questo stato, deve essere una nuova forza magnetica.

Dopo la descrizione del suo mirabile esperimento,

Faraday osserva che « esso ha stabilito per la prima volta una vera e diretta relazione ed una dipendenza tra la luce e le forze magnetica ed elettrica; e così si è fatta una grande aggiunta ai fatti e alle considerazioni, che tendono a provare che tutte le forze sono congiunte ed hanno una comune origine. Senza dubbio è difficile nello stato presente delle nostre cognizioni esprimere in termini esatti le nostre espettazioni; e sebbene io abbia detto che un' altra forza naturale per questi esperimenti sia stata aggiunta alle altre, forse era meglio dire che un' altra forma della gran forza è distintamente e direttamente aggiunta alle altre forme; ossia, che la grande forza manifestata da particolari fenomeni in particolari forme, è qui identificata, e riconosciuta per la diretta relazione fra la sua forma di luce colle sue forme di elettricità e di magnetismo. La relazione che esiste tra la luce polarizzata ed il magnetismo e la elettricità, è anche di maggiore importanza, che se si fosse dimostrato esistere solamente con la luce comune. Ma ciò non si può estendere che alla luce comune; e siccome questo appartiene alla luce fatta sotto certo rispetto più precisa nel suo carattere e nella sua proprietà per mezzo della polarizzazione, si mette così in paragone e connessione la nuova forma con quei poteri, in quella dualità di carattere che essi possiedono, e apre una via, la quale avanti ci mancava per le applicazioni di queste all' investigazione della natura di quelle e di altre influenze raggianti. » Così l' esperimento di Faraday non solo dimostra la crescente connessione tra le scienze, ma la tendenza di tutte le forze della natura a confondersi in una grande forza universale.

Nell' azione d' una calamita sopra le stratificazioni di una scarica elettrica, Gassiot ha scoperto un nuovo esempio di connessione tra il magnetismo e la luce.

SEZIONE XXXII.

Elettro-magnetismo — Induzione elettro-dinamica — Induzione elettro-magnetica — Identità dell' azione elettrica e magnetica — Descrizione d' un apparecchio elettro-magnetico e suoi effetti — Identità del magnetismo e dell' elettricità — Telegrafo sotto marino.

Per la legge d' azione e di reazione che sono eguali e contrarie, si può aspettare che come l' elettricità potentemente influisce sulle calamite, così inversamente il magnetismo debba produrre fenomeni elettrici. Col provare questo fatto importantissimo colle serie seguenti di esperimenti interessanti ed ingegnosi, Faraday ha aggiunto un altro ramo alla scienza, ch'egli ha nominato elettro-magnetismo. Una grande quantità di filo di rame vien aggomitolato in forma di elice attorno alla metà d' un anello di ferro dolce, e connesso con una batteria galvanica, mentre un' elice simile connessa con un galvanometro vien attorta intorno l' altra metà dell' anello, ma senza toccare la prima elice. Appena fatto il contatto con la batteria, l' ago del galvanometro è deviato, ma l' azione è passeggiera, perocchè, quando il contatto vien continuato, l' ago ritorna nella sua ordinaria posizione, e non è affetto dallo scorrere continuo dell' elettricità a traverso al filo connesso con la batteria. Appena nondimeno il contatto è tolto, l' ago del galvanometro è novellamente deviato, ma in direzione contraria. Simili effetti sono prodotti da un apparecchio consistente in due elici di filo di rame avvoltato intorno ad un pezzo di legno invece che di ferro, dal che Faraday inferì che la corrente elettrica che passava dalla batteria per uno dei fili metallici induce una corrente simile nell' altro filo, ma soltanto all' istante del contatto, e che una corrente momentanea è indotta in una direzione contraria, quando il

passaggio dell' elettricità è subitaneamente interrotto. Queste brevi correnti o onde d' elettricità sono ritrovate essere capaci di magnetizzare aghi, di passare per una piccola estensione di liquido, e quando delle punte di carbone di legna sono interposte nella corrente di un' elice indotta, una minuta scintilla è veduta ogni volta che il contatto è fatto o rotto: ma nè azione chimica, nè altri effetti elettrici sono ottenuti. Una deviazione nell' ago del galvanometro ebbe luogo quando le calamite comuni furono adoperate in vece della corrente voltaica: cosicchè le forze magnetiche ed elettriche sono identiche nei loro effetti in questo esperimento. Di più, quando un' elice formata di 220 piedi di filo di rame nel quale fu introdotto un cilindro di ferro dolce fu messa fra i poli nord e sud di due sbarre magnetiche e connessa col galvanometro per mezzo di fili metallici alle due estremità, le calamite erano ogni volta portate in contatto col cilindro di ferro, che diveniva magnetico per induzione e produceva una deviazione nell' ago del galvanometro. Continuando il contatto, l' ago riprendeva la sua naturale posizione, e quando il contatto era rotto, la deviazione aveva luogo in direzione contraria: quando i contatti magnetici erano rovesciati, la deviazione aveva luogo pure al rovescio. Con forti calamite, l' azione fu tanto potente, che l' ago del galvanometro girò intorno parecchie volte successivamente, ed effetti simili furono prodotti dalla semplice approssimazione o rimozione dell' elice ai poli delle calamite. Così fu provato che le calamite producono gli stessissimi effetti sul galvanometro che l' elettricità. Sebbene in quel tempo nessuna chimica decomposizione si ottenesse per queste momentanee correnti che emanano dalle calamite, esse però agitavano le membra d' una ranocchia; e Faraday osserva giustamente che « un agente che è condotto lungo i fili metallici nella maniera descritta, il quale, mentre passa, possiede le azioni peculiari magnetiche e

la forza di una corrente elettrica, che può agitare e mettere in convulsione le membra di una rana, e che finalmente può produrre una scintilla nella sua scarica a traverso il carbone, non può esser altro che elettricità. » Subito dopo egli completamente stabiliva la identità delle due forze, producendo la scintilla, riscaldando i fili metallici, ed eseguendo le chimiche decomposizioni. Quindi si vede che le correnti elettriche sono svolte dalle calamite, le quali producono gli stessi fenomeni che le correnti elettriche della batteria voltaica: esse nondimeno differiscono materialmente in questo, che si richiede un poco di tempo per l' esercizio dell' induzione elettro-magnetica, mentre l'induzione elettro-dinamica è istantanea.

Così l' effetto dell' induzione o l'influenza del filo metallico spirale nell' accrescere il potere magnetico ed elettrico, è per verità grandissimo, ed a questo noi dobbiamo il telegrafo elettrico, perchè la elettricità voltaica sola è troppo debole per superare la resistenza d'un lungo filo.

Le correnti elettriche, qualunque siano le loro tensioni, producono i fenomeni d' induzione: queste di nuovo inducono altre correnti nei corpi capaci d' induzione, e così via via indefinitamente; le prime e le seconde scorrono nella stessa direzione, le altre alternativamente opposte e dirette. Tutte possono dare la scossa e decomporre l' acqua, ma con le correnti voltaiche l' elevazione di temperatura come i loro effetti fisiologici e magnetici sono prodotti dalle azioni istantanee, che solo dipendono dalla quantità e tensione della corrente, e non mai dalla durata, perchè le correnti indotte esistono solo un momento quando è rotto il circuito della batteria. Gli effetti fisiologici più energici sono prodotti da una piccola quantità di elettricità che si muove con grande velocità. Il primo apparecchio usato da Faraday è in realtà una batteria, dove l' agente è la forza magnetica invece della voltaica, ovvero, in altre parole, l' elettricità, ed è costruito così:

Una potentissima calamita a ferro di cavallo formata di 12 lastre d'acciaio in stretta vicinanza è situata in una posizione orizzontale. Un'armatura consistente in una sbarra del più puro ferro dolce tiene ognuna delle sue estremità piegate ad angoli retti, cosicchè le facce di queste estremità possono essere direttamente portate opposte e vicine ai poli della calamita, quando lo si richiegga. Dieci fili di rame coperti di seta per isolarli sono attorti intorno ad una metà della sbarra di ferro dolce come un'elice composta, dieci altri fili metallici, pure isolati, sono avviticchiati intorno l'altra metà della sbarra.

L'estremità della prima serie di fili sono in metallica connessione con un disco circolare che s'immerge in una coppa di mercurio, mentre l'estremità degli altri dieci fili in direzione opposta sono saldati ad un'elice sporgente, che porta una striscia di rame con due punte. La calamita d'acciaio è fissa, ma quando l'armatura insieme colle sue appendici si fa rotare verticalmente, l'orlo del disco rimane sempre immerso nel mercurio, mentre le punte della striscia di rame alternativamente s'affondano in esso e s'innalzano. Per le leggi ordinarie dell'induzione, l'armatura diventa una calamita temporaria, mentre le sue estremità piegate sono opposte ai poli della calamita d'acciaio, e cessano di essere magnetiche quando sono ad angoli retti coi poli. L'armatura impartisce il suo magnetismo temporario alle elici che la circondano, e mentre una serie trasporta una corrente al disco, l'altra serie conduce la corrente opposta alla striscia di rame. Siccome l'orlo del disco girante è sempre immerso nel mercurio, una serie di fili è costantemente mantenuta in contatto con esso, ed il circuito è solo completato, quando una punta della striscia di rame s'immerge pure nel mercurio; ma il circuito è rotto all'istante in cui la punta s'alza sopra di esso. Così per la rotazione dell'armatura, il circuito è alternativamente rotto e rinnovato, e siccome soltanto in que-

sti momenti si manifesta l'azione elettrica, una brillante scintilla ha luogo ogni volta che la punta di rame abbandona la superficie del mercurio. Il filo di platino s'infiamma, le scosse sono abbastanza forti per essere incomode, e l'acqua è decomposta con rapidità maravigliosa con questo mezzo; il che prova oltre ogni dubbio l'identità della forza magnetica ed elettrica, e mette il dott. Faraday, i cui esperimenti stabilirono questo principio, in prima linea tra i fisici sperimentali.

Una macchina elettro-magnetica di forza enorme è stata recentemente costruita da Henley. Essa consiste di due calamite permanenti, dalle quali si ottiene l'induzione; ognuna di esse è formata di 30 calamite di acciaio a ferro di cavallo, lunghe due piedi e mezzo, e larghe quattro a cinque pollici, ed ognuna è circondata da un gomitolo di filo metallico lungo sei miglia, coperto di seta per isolare i fili. Una scossa di questi fili darebbe un'istantanea morte. Questo apparecchio sarà definitivamente impiegato a mandare una corrente di elettricità a traverso lunghi fili sottomarini e sotterranei, ma una macchina elettro-voltaica è stata fin qui impiegata, nella quale l'elettricità è generata da una batteria galvanica invece di calamite.

L'induzione o l'effetto dei fili metallici a spirali nell'aumentare il potere dell'elettricità voltaica è maravigliosamente illustrata nel telegrafo Atlantico.

I fili che debbono condurre la elettricità sotto terra, o attraverso l'acqua, devono esser difesi dai danni ed isolati onde impedire l'uscita laterale dell'elettricità. A questo proposito la gomena che è posta al fondo dell'Atlantico dalle vicinanze di Valentia in Irlanda a Trinity Bay in Terra Nuova, è formata di sette fini fili di rame che portano la elettricità, legati insieme con una veste di guttaperca, sopra la quale vi sono degli strati di panno stati immersi nella pece, e poi l'insieme è coperto con fili d'acciaio intrecciati insieme in una

corda e attortigliati in strette spirali, che formano una corda o gomena di diametro non maggiore d'un pollice e un quarto, e lunga 2,100 miglia. L'uso della gutta-perca serve ad isolare i fili metallici, l'altra veste è solo destinata a proteggerli.

La batteria voltaica la quale genera la elettricità consiste di 40 pile, le lastre delle quali sono alternativamente di zinco e d'argento platinizzato, ognuna di circa nove pollici quadrati, il fluido eccitatore essendo acido solforico diluito. Sebbene la forza sviluppata da questa batteria sia così grande che un pezzo di ferro lungo tre pollici, e tre ottavi di pollice di diametro, messo in contatto coi poli possa essere consunto in pochi minuti, essa è assolutamente incapace di mandare una corrente di elettricità a traverso dei fili lunghi 2,500 miglia, a motivo della loro resistenza, senza l'aiuto dell'azione induttiva di Faraday. Questa sola è l'agente primario per indurre una corrente di sufficiente forza.

Per ottener questo, molte migliaia di metri di filo sottile di rame coperto di seta sono avvolte attorno un cilindro vuoto di ferro dolce: poi il tutto è coperto di gutta-perca, e l'estremità del filo è unita ai fili nella gomena onde formare una linea continua da Valentia a Terra Nuova. Un secondo filo di rame più corto, ma più grosso che il precedente e pure isolato con una veste di seta, è avvolto attorno il cilindro di gutta-perca: se le estremità di questo filo grosso sono portate a contatto coi poli d'una batteria, delle correnti elettriche scorrono a traverso di esso tra polo e polo, e nel passaggio temporario cangiano il cilindro vuoto di ferro in una potente elettro-calamita, che per la sua induzione, induce nel filo sottile una corrente d'elettricità di forza bastante per potere traversare l'Atlantico. La efficacia d'un telegrafo elettrico dipende dal potere che noi abbiamo di rompere o rinnuovare la corrente a piacere, giacchè per questo mezzo si danno segnali distinti e successivi da

Digitized by Google

stazione a stazione. Nella corda Atlantica sono trasmesse alternativamente l'elettricità positiva e la negativa: la elettricità è mandata all'America dai poli alternati, e la corrente ritorna per l'acqua che rende completo il circuito.

Il passaggio dell'elettricità attraverso una gomena o un filo telegrafico nell'aria è sensibilmente istantaneo: quello per una corda estesa nell'acqua o sotto terra, richiede tempo a motivo dell'induzione laterale attraverso la gutta-perca: conciossiachè la elettricità passando per i fili induce l'elettricità opposta sulla superficie dell'acqua o nella terra umida in contatto della corda, e sotto questo rispetto è precisamente simile alla bottiglia di Leida, rappresentando la gutta-perca il cristallo. Siccome poi il potere dell'induzione è proporzionale alla tensione dell'elettricità, e questa tensione è continuamente diminuita dalla resistenza dei fili, l'induzione diminuisce continuamente e vuole un tempo più lungo. La elettricità mette due secondi ad attraversare una corda di 768 miglia di lunghezza, condotta sotto terra da Londra a Manchester e per tornare in dietro di nuovo: mentre in aria tutto è istantaneo, perchè la capacità induttiva dell'aria è molto inferiore a quella dell'acqua o della terra umida. Nell'esperimento con la corda sotto terra l'elettricità mette due terzi di secondo a superare la resistenza dei fili, e allora la velocità dell'elettricità è 1,000 miglia in un secondo, e questa è la stessa, qualunque sia la intensità dell'elettricità.

È stato già rammentato che l'efficacia del telegrafo elettrico dipende dal rompere e rinnuovare la corrente elettrica, per la qual cosa una successione di onde elettriche sono mandate per i fili conduttori. Ora è certo che tre onde elettriche possono passare simultaneamente per i fili del telegrafo Atlantico con sufficienti intervalli tra di loro, in modo da ricordare le indicazioni che portano; cioè tre segnali possono essere intelligibilmente e praticamente trasmessi in due secondi.

Il disegno originale, la struttura e la difficoltà di deporre la corda sono solamente uguagliate dal talento e dalla perseveranza con che esso è stato mandato ad esecuzione. Il 5 agosto 1858 sarà memorabile per il compimento dell'impresa la più ardita che mai sia stata intrapresa dall'uomo, ed è solamente il principio d'una comunicazione vasta sottomarina, che in ultimo circonderà il globo. Si deve al genio britannico di distruggere così e tempo e spazio per unire tutto l'uman genere in una gran famiglia per il suo morale e religioso progresso: e qualunque possa essere il destino delle Isole Britanniche nel seguito dei secoli, rimarrà alla loro energica razza la gloria di essere stata il principale istrumento nelle mani della Provvidenza per la civilizzazione del mondo: civilizzazione che si estenderà collo sviluppo delle loro numerose colonie nei grandi Stati Cristiani indipendenti, come quelle dell'Unione nell'America settentrionale. Il fulmine tolto al cielo da Franklin[1] ora passa per le profondità dell'Atlantico come messaggero di pace tra nazioni affini.

Nei telegrafi sopra terra la intensità della batteria o delle calamite è accresciuta per l'induzione sullo stesso principio. È in virtù dell'intensità, che la corrente elettrica può passare a traverso i fili metallici, ed essa è aumentata crescendo il numero dei giri intorno il cilindro: nondimeno, questo è vantaggioso soltanto allorchè la distanza tra le stazioni è grande, perchè allora la resistenza, per l'aggiunta dei giri, porta una piccola proporzione alla resistenza offerta dai lunghissimi fili, ma una grandissima proporzione a quella opposta nei fili brevissimi. L'aggiustamento convenevole per ciascun caso è stato determinato dagli esperimenti di eminenti elettricisti, e tutte le disposizioni sono state portate a grande perfezione in questo maraviglioso trionfo della

[1] « Eripuit fulmen Cœlo, sceptrumque tyrannis. » È l'iscrizione sopra una medaglia coniata in onore di Franklin.

scienza, il quale è dovuto al Volta che chiamava alla esistenza la prepotente corrente, ed a Faraday che le ha dato la energia della folgore.

Quando la lunghezza del filo nell' elici d' un elettro-magnete è grandissima; viene offerto una resistenza crescente al passaggio dell' elettricità, cosicchè la cessazione del magnetismo non è istantanea, quando il contatto colla batteria voltaica è rotto. Onde porre rimedio a questo difetto è stato inventato uno strumento che all' istante priva l' apparecchio del resto di elettricità. Una grande lunghezza di filo sottile dà scosse più forti, mentre un filo più breve e più grosso somministra scintille più lunghe, ed accende la maggiore quantità di filo di platino.

L' apparato elettro-induttivo di Ruhmkorff è stato migliorato, e nuove macchine di grande energia sono state costruite da Grove, Gassiot, e Joule. Per verità, tanto grande è l' energia dell' elettro-induzione, che per un tempo si nutrirono speranze della sua superiorità sul vapore come forza motrice. Conciossiachè la corrente elettrica proveniente da una elettro-calamita può farsi scorrere in direzioni opposte, in modo da produrre alternative attrazioni e ripulsioni, e per conseguenza un movimento continuato che poteva essere applicato come forza motrice al meccanismo. Ad onta di ciò, Joule ha dimostrato che la forza sviluppata da una libbra di carbone in combustione è a quella prodotta da una libbra di zinco consumato nell' apparato potente elettro-magnetico di Grove come 9 ad 1. Cosicchè se lo zinco fosse a buon mercato come il carbone, ed una batteria voltaica fosse così facilmente tenuta in buon ordine come una fornace da macchine, la elettricità non prevarrebbe al vapore come forza motrice.

Una corrente d' elettricità che percorre un conduttore produce una quantità di calore determinato da leggi fisse, l'ammontare del quale è invariabile tutto il tempo che la macchina alla quale è applicato rimane in quiete: nell' istante però che la macchina comincia a muoversi,

una reazione ha luogo nell' intensità della corrente, che diminuisce la quantità del calore, perchè il calore scomparso è convertito in una forza meccanica impiegata per la macchina.

Gli sperimenti di Joule provano che, quante volte una corrente elettrica è generata da una macchina elettro-magnetica la quantità del calore svolto da questa corrente ha una relazione costante colla forza richiesta a fare agire la macchina; e dall'altro canto, quante volte una macchina è messa ad agire col mezzo di una batteria voltaica, il potere sviluppato sta al dispendio della forza calorifica della batteria in proporzione di un dato consumo di zinco, avendo l' effetto meccanico prodotto un rapporto determinato col calore perduto nella corrente voltaica. La conclusione naturale che Joule tira da questo esperimento si è, che il calore e il potere meccanico sono reciprocamente convertibili, ed è pertanto evidente che il calore è la vis viva, o forza viva delle particelle ponderabili, o uno stato di attrazione e ripulsione capace di generare una vis viva (N. 222).

SEZIONE XXXIII.

Elettricità prodotta dalla rotazione — Direzione delle correnti — Elettricità prodotta dalla rotazione d'una calamita — Spiegazione dell' esperimento di Arago — Rotazione d' una lamina di ferro fra i poli d' una calamita — Triplice relazione delle sostanze colle calamite — Termo-elettricità.

Arago scoperse una sorgente di magnetismo nel moto rotatorio. Se una lastra circolare di rame sia fatta girare immediatamente sopra o sotto un ago magnetico od una calamita sospesa in modo che la calamita possa rotare in un piano parallelo al piano della lastra di rame, la calamita tende a seguire la rotazione della lastra;

ovvero se la calamita gira, la lastra tende a seguire il suo moto; così potente è questo effetto, che calamite e lastre del peso di molte libbre sono state obbligate a girare. Questa cosa è del tutto indipendente dal moto dell'aria, poichè succede lo stesso quando un pezzo di vetro è interposto tra la calamita ed il rame. Se la calamita e la lastra sono in riposo, nessuno effetto il più piccolo, attrattivo, ripulsivo, o di sorta alcuna può essere veduto tra di loro. Nel descrivere questo fenomeno Arago stabilisce che ha luogo non solo coi metalli ma con tutte le sostanze solide liquide ed anche gassose, sebbene l'intensità dipenda dalla qualità della sostanza in moto. Gli esperimenti fatti da Faraday spiegano quest' azione singolare. Egli trovò che se un pezzo di metallo o un filo metallico formante un circuito di qualunque forma, sia mosso da diritta a sinistra attraverso le linee della forza procedente dal polo di una sbarra magnetica, queste linee di forza inducono una corrente di elettricità che corre in una direzione, e quando il moto del metallo o del filo è rovesciato, la direzione della corrente è rovesciata parimenti; la rotazione della calamita intorno al suo asse non ha alcuno effetto su questi resultati, e nessuna corrente è indotta quando il metallo e il filo sono in riposo. Una lastra di rame di 12 pollici di diametro e grossa un quinto di pollice fu messa fra i poli d'una potente calamita a ferro di cavallo, per conseguenza attraverso le linee di forza magnetica ad angoli retti, e connessa in certi punti con un galvanometro per mezzo di fili di rame. Quando la lastra era in riposo, nessuno effetto si produceva; ma appena la lastra era messa a girare, l' ago del galvanometro rapidamente deviò qualche volta sino a 90°, e per una rotazione uniforme, la deviazione fu costantemente mantenuta a 45°. Quando il moto della lastra di rame fu rovesciato, l' ago fu deviato nella direzione contraria, e così una corrente permanente di elettricità fu sviluppata da

una calamita ordinaria. L'intensità della elettricità raccolta per i fili, e trasportata per essi al galvanometro, variava con la posizione della lastra relativamente ai poli della calamita.

Il moto dell'elettricità nella lastra di rame può esser concepito, considerando che solamente per moversi un solo filo metallico, come i razzi d'una ruota, davanti un polo magnetico, una corrente elettrica tende a scorrere a traverso di esso da un'estremità all'altra. Quindi se una ruota sia costruita d'un gran numero di tali razzi e girata vicino al polo d'una calamita nella maniera del disco di rame, ogni raggio o razzo tenderà ad avere una corrente prodotta in essa nel passare davanti il polo. Ora, siccome la lastra circolare non è niente più che un numero infinito di raggi o razzi in contatto, le correnti scorreranno nella direzione dei raggi, se un canale sia aperto per il loro ritorno, e, in una lastra continua, quel canale è somministrato dalle porzioni laterali su d'ogni lato del raggio particolare vicino al polo magnetico. Una tale ipotesi è confermata dall'osservazione, perocchè le correnti d'elettricità positiva partono dal centro alla circonferenza, e le negative dalla circonferenza al centro e viceversa, secondo la posizione dei poli magnetici e la direzione della rotazione; così che un filo metallico che raccolga al centro le lastre di rame porta elettricità positiva al galvanometro in un caso e negativa nell'altro; quella raccolta da un filo conduttore in contatto con la circonferenza della lastra è sempre l'opposta dell'elettricità trasportata dal centro. Egli è evidente che quando la lastra e la calamita sono ambedue in riposo niun effetto ha luogo, poichè le correnti elettriche che fanno deviare il galvanometro, sono solo indotte dal moto a traverso le linee della forza magnetica. Se la lastra è collocata di fianco in modo da esser parallela a queste linee di forza, nessuna rivoluzione di essa colla più potente calamita produce il più

tenue segno di una corrente al galvanometro. Gli stessi fenomeni possono essere prodotti dall' elettro-calamita. Gli effetti sono simili, quando la calamita gira e la lastra riposa. Quando la calamita si rivolge uniformemente attorno al proprio asse, l' elettricità della stessa natura è raccolta ai suoi poli, e l' elettricità opposta al suo equatore.

I fenomeni che hanno luogo negli esperimenti d'Arago possono essere spiegati da questo principio. Quando la lastra di rame e la calamita girano, l' azione della corrente elettrica indotta tende continuamente a diminuire il loro moto relativo ed a portare i corpi che si muovono in uno stato di relativo riposo, così che se uno sia fatto girare per una forza estranea, l' altro tenderà a girare intorno a quello nella stessa direzione e con la stessa velocità.

Quando una lastra di ferro o d' una sostanza capace di essere una calamita o temporaria o permanente gira tra i poli d' una magnete, è stato ritrovato che i poli dissimili nei lati opposti della lastra neutralizzano gli effetti l' uno dell' altro, così che nessuna elettricità è sviluppata; mentre i poli simili in ogni lato della lastra girante accrescono la quantità di elettricità, ed un solo polo sull' estremità è sufficiente. Ma quando il rame o le sostanze non sensibili all' ordinarie impressioni magnetiche girano, i poli simili sugli opposti lati della lastra neutralizzansi mutuamente; i poli dissimili in ogni lato esaltano l' azione, ed un polo soltanto all' orlo della lastra che gira o sull' estremità, non ha nessuno effetto. Questo fornisce una prova per distinguere la forza magnetica ordinaria da quella prodotta dalla rotazione. Se poli dissimili, cioè nord e sud, producono più effetto che un polo, la forza sarà dovuta alle correnti elettriche; se poli simili producono più effetto che un solo, allora il potere non è elettrico.

Queste ricerche mostrano che vi sono realmente po-

chissimi corpi magnetici nella maniera del ferro. Faraday per questo ordina le sostanze in tre classi, rispetto alla relazione di esse colle calamite: quelle modificate dalla calamita quando è in riposo, come il ferro, l'acciaio e il nichelio, che posseggono le ordinarie proprietà magnetiche; quelle modificate quando è in moto, nelle quali le correnti elettriche sono sviluppate per la forza induttiva della calamita come il rame; e finalmente quelle che sono perfettamente indifferenti alla calamita sia in riposo o in moto.

È già stato osservato che tre corpi sono richiesti per formare un circuito galvanico, uno dei quali deve esser liquido. Se non che nel 1822 Seebeck di Berlino scoperse che le correnti elettriche possono essere prodotte dalla parziale applicazione del calore ad un circuito formato di due conduttori solidi. Per esempio, quando un semicerchio di bismuto, unito ad un semicerchio di antimonio in modo da formare un anello, è riscaldato ad una delle congiunzioni con una lampada, una corrente d'elettricità scorre per il circuito dall'antimonio al bismuto, e queste correnti termo-elettriche producono tutti gli effetti elettro-magnetici. Un ago da bussola situato o dentro o fuori il circuito, ed a piccola distanza da lui, è deviato dalla sua naturale posizione in una direzione corrispondente alla via nella quale la elettricità scorre. Se questo anello sia sospeso in modo da muoversi facilmente in qualsiasi direzione, essa ubbidirà all'azione d'una calamita portatagli vicino; e può anche esser fatto girare. Secondo le ricerche di Seebeck l'istessa sostanza disugualmente riscaldata presenta correnti elettriche, e il Nobili osservò che in tutti i metalli, eccetto zinco, ferro e antimonio, l'elettricità scorre dalla parte calda alla fredda. Questo fisico attribuisce il magnetismo terrestre alla differenza nell'azione del calore sulle varie sostanze di che la crosta della terra si compone, e in conferma delle sue vedute ha prodotto le correnti elettriche pel contatto di due

pezzi di creta inumidita, dei quali l'uno era più caldo che l'altro.

Becquerel costruì una batteria termo-elettrica d'una stessa sorta di metallo, per la quale egli ha determinato la relazione fra il calore impiegato e la intensità della risultante elettricità. Egli ritrovò nella maggior parte de'metalli l'intensità della corrente crescere col calore fino ad un certo punto, ma che questa legge si estende molto più avanti nei metalli che sono difficili ad esser fusi e che non s'irrugginiscono. Gli esperimenti di Cumming mostrano che la mutua azione d'una calamita e d'una corrente termo-elettrica è soggetta alle stesse leggi che quelle delle correnti magnetiche e galvaniche: in conseguenza tutti i fenomeni di attrazione, ripulsione e rotazione possono essere presentati da una corrente termo-elettrica. Botto di Torino ha decomposta l'acqua ed alcune soluzioni colla termo-elettricità, ed il cavaliere Antinori di Firenze è riuscito ad ottenere una brillante scintilla coll'aiuto d'un circuito elettro-dinamico.

Il principio della termo-elettricità è stato impiegato da Nobili e Melloni a misurare le minutissime quantità di calore nei loro esperimenti sull'istantanea trasmissione del calorico raggiante. Il termo-moltiplicatore ch'essi costruirono per questo oggetto, consiste in una serie di sbarre alternate, o meglio di fili sottili di bismuto o di antimonio, situati lato a lato, e colle estremità saldate insieme alternativamente. Quando il calore è applicato ad una estremità di quest'apparecchio, rimanendosi l'altra alla sua naturale temperatura, delle correnti di elettricità scorrono per ogni paio di sbarre, e sono trasportate dai fili ad un delicato galvanometro, il cui ago mostra l'intensità dell'elettricità trasportata e conseguentemente quella del calore impiegato. Questo istrumento è così delicato che il calore comparativo di differenti insetti è stato determinato pel suo mezzo.

La conservazione della forza è strettamente mante-

nuta in tutta la scienza e nelle differenti forme d' elettricità. Nella elettricità statica le forze positive e negative bilanciansi esattamente: sono sempre simultanee, ed indicate spesso per linee curve di forza: non vi è difetto o eccesso, e l' esistenza d' una sorta senza l' altra è affatto impossibile, cioè, è assolutamente una forza dupla. Lo stesso si può dire delle correnti elettriche, sieno prodotte da una batteria voltaica o per altro mezzo, la corrente in una parte del circuito è assolutamente la stessa in quantità, e il carattere è duplo come nell' altra: e nella batteria isolata di Volta, dove il potere sostenitore è interno, nessuno sviluppo delle forze dell' una di queste può avvenire, finchè il circuito sia completo, o l' induzione prodotta alle estremità; perocchè se quando non vi è circuito, l' induzione fosse impedita, non solo veruna corrente, ma nessuna quantità di elettricità pronta ai poli a produrre una corrente, può essere sviluppata nel più tenue grado.[1]

---

[1] Faraday.

SEZIONE XXXIV.

Il magnetismo è una forza dupla — Carattere contrapposto del paramagnetismo e del diamagnetismo — La terra è paramagnetica — Proprietà dei corpi paramagnetici — Polarità — Induzione — Linee di forza magnetica — Correnti di elettricità indotte da esse — È dimostrato che sono curve chiuse — Analogia ed identità dell'elettricità e del magnetismo — Magnetismo terrestre — Valori medii dei tre elementi magnetici — Loro variazioni in progressione dupla dimostrate consistere di due variazioni sovrapposte — Scoperta della periodicità delle tempeste magnetiche — Il periodo decennale degli elementi magnetici è il medesimo di quello delle macchie solari — Magnetismo atmosferico — Diamagnetismo — Azione differentissima di elettro-magnetismo sui corpi paramagnetici, diamagnetici, e sul rame — Prova della polarità diamagnetica e d'induzione — Azione magneto-cristallina — Effetti della compressione, calore e clivaggio sui corpi magnetici — Mutua dipendenza fra luce, calore, elettricità ec. ec. — La conservazione della forza e la permanenza della materia primitiva sono leggi di natura — Definizione della gravità discorde da questa legge — La gravità è solo una forza residuale di una forza universale — Magnetismo del mezzo etereo.

Il magnetismo può essere riguardato come una nuova scienza in conseguenza delle profonde ricerche e delle mirabili scoperte di Faraday. Poichè il magnetismo della materia è solo conosciuto per l'azione d'una calamita o della elettricità sopra di essa, usando d'una magnete molto energica o di una elettro-calamita egli ha dimostrato che tutte le sostanze conosciute, sieno solide, liquide o aeriformi, sono più o meno magnetiche; se non che il magnetismo è differentissimo nelle differenti sostanze. Per esempio, se una sbarra di ferro sia sospesa liberamente tra i poli d'una potentissima calamita o di una elettro-calamita, sarà attratta dai due poli, e sarà messa o resterà nella direzione di una linea retta che li unisce: ma se una simile sbarra di bismuto sia sospesa liberamente nella stessa maniera, essa fermerassi in una direzione ad angoli retti a quella che prendeva la sbarra

di ferro. Così la direzione nella quale il ferro si mette, è l'assiale, ossia nella linea della forza, mentre quella che prende il bismuto, è equatoriale o perpendicolare alla linea della forza. Le sostanze che sono magnetiche alla maniera del ferro si dicono paramagnetiche; quelle alla maniera del bismuto, diamagnetiche. Per quanto ci è noto, tutte le materie sottostanno all' una o all' altra di queste leggi. Molti corpi sono paramagnetici oltre il ferro, come lo spato-pesante, che consiste di perossido e protossido di ferro misto con piccole porzioni di selce e d' allumina, come ancora alcune gemme e alcuni metalli, tali il cobalto, il nichelio ecc. Una sostanza è spesso paramagnetica, se essa contiene solo la 130,000ª parte del suo peso di ferro; ma di lunga più grande è il numero delle diamagnetiche, come tutte le materie animali, vegetali, acidi, olio, zucchero, amido, pane e tutti i gas, l'ossigeno in fuori che è sommamente paramagnetico, e la sua forza cresce colla densità sua, ma nonostante la predominanza della materia diamagnetica alla sua superficie, il globo terrestre è paramagnetico: di fatti è una potente calamita.

Oltre le sostanze che sono paramagnetiche naturalmente, questa proprietà può essere data per mezzo di diversi metodi, per fregamento con la calamita, od anche per sovrapposizione con essa; ed una sbarra di acciaio duro tenuto alla medesima inclinazione dell' ago magnetico diverrà una magnete, ricevendo pochi colpi con un martello sopra la sua estremità superiore.

La polarità è uno dei più distinti caratteri del magnetismo: è la proprietà che possiede una calamita quando è liberamente sospesa, di restare spontaneamente nel meridiano magnetico, o pressochè da nord a sud, e di ritornare sempre a questa direzione, quando venga disturbata in conseguenza della media attrazione magnetica della terra: nondimeno la calamita non ha nessuna tendenza a muoversi al nord o sud, anche quando è a

galla sull' acqua, perchè l' istesso polo che attrae una dell' estremità respinge l' altra. Ambedue i poli d' una calamita attraggono il ferro, il quale reciprocamente attrae qualunque polo della calamita con eguale forza contraria. L' azione d' una calamita sopra il ferro non magnetizzato è ristretto all' attrazione, mentre la reciproca influenza delle calamite è caratterizzata da una forza ripulsiva e attrattiva; perchè il polo nord respinge il polo nord, e il polo sud respinge il sud; ma polo nord e sud mutuamente si attraggono l' un l' altro: ciò che prova che il paramagnetismo è una forza dupla, nella quale la conservazione della forza è perfettamente mantenuta, perchè la forza di attrazione è perfettamente uguale alla forza di ripulsione. Una sorta di polarità non può esistere senza l' altra: sono assolutamente simultanee, dipendenti, e di eguali intensità.

L' induzione è il potere che una calamita possiede di eccitare il paramagnetismo temporario o permanente in quei corpi che si trovano nella sua vicinanza e che sono capaci di riceverlo. Per questa proprietà il solo accostare una magnete rende il ferro e l' acciaio paramagnetici, tanto più potentemente quanto è meno distante; ma la forza indotta è sempre esattamente eguale alla forza che la produce. Quando l' estremità nord d' una calamita è portata vicina, e nella linea medesima con una sbarra non magnetizzata, questa acquista tutte le proprietà d' una perfetta magnete, acquista un polo sud, mentre la estremità remota diventa un polo nord. Ha luogo esattamente il rovescio quando l' estremità sud è presentata alla sbarra, così che ogni polo d' una magnete induce la polarità opposta nella adiacente estremità della sbarra e la stessa polarità nell' estremità lontana, per conseguenza la estremità più vicina della sbarra è attratta, e la più lontana respinta: ma siccome l' azione è maggiore nella parte adiacente che nella lontana, la forza risultante è quella di attrazione. Per l' induzione

una sbarra di ferro non solo acquista la polarità ma il potere d'indurre paramagnetismo in un terzo corpo; e sebbene tutte queste proprietà svaniscano dal ferro appena la calamita è allontanata, un permanente aumento d'intensità è generalmente impartito alla magnete istessa per la reazione del paramagnetismo temporario del ferro. Questo acquista la forza induttiva più rapidamente che l'acciaio, ma la perde pure prontamente coll'allontanare la magnete, mentre l'acciaio resta impressionato d'una polarità duratura.

Un certo tempo è richiesto per l'induzione, e può essere accelerato per mezzo di qualche cosa che ecciti un moto vibratorio nelle particelle dell'acciaio, come con un violento colpo di martello o col calore succeduto da subitaneo freddo. Una verga di acciaio può esser convertita in magnete per la trasmissione d'una scarica elettrica a traverso di essa; e siccome la sua efficacia è la stessa in qualunque direzione passi l'elettricità, l'effetto nasce dalla sua meccanica azione che eccita una vibrazione tra le particelle dell'acciaio. È stato osservato che le particelle di ferro facilmente riassumono il loro stato naturale dopo l'induzione, mentre quelle dell'acciaio resistono al ripristinamento dell'equilibrio, ossia a ritornare allo stato neutro: evidente per tanto è che una causa che allontani o diminuisca la resistenza delle particelle tenderà a distruggere il paramagnetismo dell'acciaio: conseguentemente gli stessi mezzi meccanici che disviluppano il potere, lo distruggeranno ancora. Sotto questo rapporto una verga d'acciaio può perdere il suo paramagnetismo per qualche meccanica scossa come per la caduta sopra una sostanza dura, per un colpo di martello, pel calore al rosso che rende dolce l'acciaio. Le circostanze che determinano s'essa guadagnerà o perderà, sono la sua posizione rispetto l'equatore magnetico, e l'intensità maggiore o minore del primitivo suo stato magnetico.

Un paragone del numero delle vibrazioni eseguite

dall'istesso ago magnetico durante l'istesso tempo a distanze differenti da una calamita, somministra la legge dell'intensità paramagnetica, che segue la ragione inversa dal quadrato della distanza ; legge che non è modificata dall'intervento di nessuna sostanza qualunque tra la magnete e l'ago, purchè la sostanza non sia essa stessa suscettibile di magnetismo. L'induzione e la reciproca azione delle calamite sono pertanto soggette alle leggi della meccanica, ma la composizione e la risoluzione delle forze sono complicate in conseguenza di quattro forze, essendone constantemente in attività due in ciascuna magnete. Were Fox scoprì che la legge della forza paramagnetica cangia dalla ragione inversa del quadrato della distanza alla ragione semplice inversa, quando la distanza tra due magneti è tanto piccola come dal quarto all'ottavo d' un pollice, od anche la metà d' un pollice, se le magneti sono grandi; e nel caso di ripulsione, il cambiamento ha luogo ad una distanza sempre maggiore, specialmente se le magneti differiscono materialmente d'intensità.

Senza sostenere alcuna ipotesi su ciò che il magnetismo sia, o come la forza sia originata o sostenuta, Faraday considera una calamita come una sorgente di forza circondata da linee curve di forza, le quali non solo rappresentano il poter magnetico in qualità e direzione, ma ancora in quantità; ipotesi che s'accorda perfettamente coll' esperienza, e coll'azione dell'elettricità e del magnetismo. La natura e la forma di queste linee possono essere vedute, mettendo una sbarra calamitata sopra una tavola, stendendo un foglio di carta grossa sopra di essa in modo che sia perfettamente piano e senza pieghe, e stacciandovi quindi purissima limatura di ferro, questa prenderà all'istante la forma delle linee curve rappresentate dalla figura prima della tavola 7, in conseguenza dell'azione della magnete. Queste linee sono le vere rappresentanti delle forze magnetiche, ed essendo riportate

ad una forza polare, esse hanno opposte qualità in direzioni opposte. Quando una magnete è rotta nel mezzo, ogni parte diventa una perfetta magnete: la parte che originalmente aveva il polo sud, acquista il polo nord all'estremità rotta; e la parte che aveva prima il polo nord, prende quello sud; e per quanto la divisione meccanica si può ottenere, si è trovato che ogni frammento è una calamita perfetta. La figura seconda, nella tavola 7, dimostra le linee di forza in una magnete spezzata quando le estremità non sono ancora separate; la figura terza, quando lo sono.

Delle correnti di elettricità sono prodotte nei corpi conduttori quando sono mossi a traverso queste linee di forza magnetica. Se un filo di rame ad una piccola distanza sopra il polo nord d'una calamita a verga sia mosso da sinistra a destra, con un angolo qualunque a traverso le linee di forza magnetica, queste indurranno una corrente d'elettricità nel filo scorrente da diritta a sinistra; se il filo sia mosso colla stessa velocità in contraria direzione, la corrente indotta sarà di eguale intensità, ma scorrerà da sinistra a destra. Risultati simili si ottengono dal polo sud, e i fenomeni sono gli stessi se la calamita è mossa e il filo no: in ambedue i casi la intensità è maggiore colla maggiore velocità del movimento. Si vede che la quantità d'elettricità indotta è in ragion diretta dell'ammontare delle curve magnetiche che si interferiscono, e se un filo vien mosso uniformemente in un campo di egual forza magnetica, la corrente di elettricità generata è proporzionale al tempo ed anche alla velocità del movimento: perocchè, se un disco metallico è fatto girare fra le linee della forza, la corrente indotta è più forte vicino allo spigolo dove maggiore è la velocità; e in sostanze differenti moventisi a traverso le linee della forza, la intensità della corrente indotta è in ragion diretta del potere conduttivo della sostanza. Così i corpi mossi vicino ad una calamita hanno una corrente elettrica

sviluppata in loro, e all'opposto i corpi che hanno una corrente in sè, sono definitivamente da una magnete loro vicina messi in movimento.

Dai precedenti esperimenti apparisce che la polarità magnetica si manifesta in due maniere: nell'ago magnetizzato, per attrazione e ripulsione, e in un filo metallico che si muove a traverso le linee di forza magnetica essa si manifesta per le direzioni opposte nelle quali la corrente indotta scorre, secondo che il corpo è mosso da destra a sinistra, o da questa a quella. Quindi la polarità consiste nelle azioni opposte e contrapposte manifestate all'estremità opposte o lati opposti d'una limitata o illimitata linea di forza. L'antitesi è il vero e il più generale carattere del magnetismo, qualunque possa essere il suo modo d'agire.

Per mezzo della induzione di correnti elettriche nei fili di rame che si muovono a traverso le linee di forza magnetica, Faraday provò che le linee di forza derivate da una magnete, erano curve chiuse, le quali ritornano e passano per l'interno della magnete. Egli metteva due verghe magnetiche della stessa lunghezza, grossezza ed intensità coi loro poli simili insieme, così che esse potessero agire come una calamita. Un filo di rame era allora fatto passare tra i loro assi, il quale dopo essere steso per metà della loro lunghezza era piegato equatorialmente, e rivolto indietro lungo il lato esterno; così il filo tutto formava una maglia le cui due estremità si connettevano con un galvanometro. Quando tutto il filo era avvolto, nessuno effetto si produceva, sebbene esso traversasse le linee della forza magnetica; ma quando era tagliato in due, in modo da separare la parte esterna dall'interna, le correnti elettriche di intensità eguale ma in direzioni contrarie, erano indotte in ogni porzione del filo, come se fossero fatte separatamente incrociare le linee della forza; giacchè l'apparecchio era costrutto di modo, che questo poteva esser fatto. Il filo

esterno traversava le linee di forza, che derivavano dalle magneti ad angoli retti coi loro assi, mentre la parte equatoriale del filo interno traversava le linee di forza che ritornavano indietro. È evidente che queste forze neutralizzano ogni altra, quando tutto il filo è avvolto: per conseguenza le linee di forza interne ed esterne devono essere state di eguale intensità ed in opposte direzioni in modo da bilanciarsi reciprocamente. Per questo ed altri numerosissimi esperimenti Faraday ha provato che le linee di forza magnetica sono continue curve chiuse, simili in figura, grossezza e potere. Esse estendonsi indefinitamente al di là della calamita, e non soffrono cambiamento per la distanza.

Così la forza magnetica invade l'interno della massa: se l'elettricità fa lo stesso, o deve aver luogo una compensazione, od essa deve muoversi ancora in linee di forza, sensibili solo alla superficie. L'elettricità ha una continua tendenza a scappare, e scappa se non è impedita dalla forza coercitiva dell'aria, e d'altre sostanze non-conduttrici. Questa tendenza non esiste nel magnetismo, il quale non lascia le sostanze che lo contengono in nessuna circostanza. Vi deve esser qui qualche forza coercitiva analoga alla confricazione, che arresta le forze magnetiche in modo da opporsi in prima alla loro separazione e quindi a impedire la loro riunione. Nel ferro dolce la forza coercitiva o manca, o è estremamente debole, poichè il ferro si rende facilmente paramagnetico per induzione, e facilmente perde questa qualità, mentre nell'acciaio la forza coercitiva è estremamente energica, perchè impedisce che l'acciaio acquisti rapidamente le proprietà paramagnetiche, ed interamente lo impedisce dal perderle, acquistate che le abbia. La debolezza della forza coercitiva nel ferro e la energia di essa nell'acciaio, rispetto alla forza paramagnetica, è analoga perfettamente alla facilità della trasmissione somministrata all'elettricità dai corpi non-elettrici, e alla resistenza provata dagli

elettrici. Ad ogni passo l'analogia tra elettricità e magnetismo diventa più sorprendente. L'attrazione e la repulsione è comune ad ambedue; le elettricità positiva e negativa sono simili alle polarità nord e sud, e sono governate dalle leggi stesse, cioè che tra forze simili vi è ripulsione, tra dissimili attrazione. Ognuna di queste quattro forze è capace di agire più energicamente quando è sola; ma siccome l'equilibrio elettrico è ristabilito dalla unione dei due stati elettrici, e la magnetica neutralità per la combinazione delle due polarità, esse neutralizzansi respettivamente quando sieno congiunte. Tutte queste forze variano inversamente come il quadrato della distanza, e per conseguenza cadono sotto le stesse leggi meccaniche.

Un'analogia simile estendesi all'induzione magnetica ed elettrica. Ferro ed acciaio sono in istato d'equilibrio quando sono neutrali: ma questo equilibrio è immediatamente disturbato all'accostarsi del polo d'una magnete, che per l'induzione trasferisce una specie di polarità ad una estremità d'una verga di ferro o d'acciaio, e la specie opposta all'altra: — effetti esattamente simili all'induzione elettrica. Vi è pure una corrispondenza tra la frattura d'una calamita e quella d'un conduttore elettrico; perocchè se un conduttore bislungo viene elettrizzato per induzione, le sue due estremità avranno elettricità opposte; e se in questo stato esso sia diviso a traverso il mezzo, le due porzioni, quando sieno rimosse ad una certa distanza l'una dall'altra, riterranno ciascuna la elettricità che è stata indotta sopra di esso. L'analogia però non si estende fino alla trasmissione. Un corpo può trasmettere una quantità ridondante di elettricità positiva ad un altro, o privare un altro della sua elettricità, l'uno guadagnando a spese dell'altro, ma un corpo non può possedere una sola sorta di polarità. Fuori di questa eccezione, vi è tale perfetta corrispondenza tra le teorie delle attrazioni e ripulsioni magnetiche e le forze elet-

triche nei corpi conduttori, che esse non solo sono le stesse in principio, ma sono determinate dalle formole istesse. L'esperimento concorre colla teoria a provare l'identità di queste due influenze. Quindi se i fenomeni elettrici sono dovuti ad una modificazione del mezzo etereo, i fenomeni magnetici devono essere attribuiti ad una causa analoga.

Linee curve di forza magnetica derivano da ogni punto della superficie terrestre dove ritrovasi sensibile inclinazione, e piegandosi intorno entrano di nuovo nella terra all'equatore magnetico. Esse inducono correnti elettriche nei fili conduttori, muovendosi a traverso ad essi esattamente nel medesimo modo come in una magnete artificiale; e quando un'elice vuota o un cilindro di filo di rame, le cui estremità sono connesse con un galvanometro, è messa nella inclinazione magnetica, e repentemente mossa a traverso le linee di forza, l'ago del galvanometro vibrerà per un arco di 80° a 90°, in consegnenza della corrente elettrica indotta da queste linee di forza magnetica nel filo, e l'azione è maggiore quando un fusto di ferro dolce è situato nell'elice, che diventa una magnete temporaria d'induzione. Di nuovo, se una lastra di rame sia connessa con un galvanometro per mezzo di due fili di rame, uno nel centro e l'altro nella circonferenza affine di raccogliere e condurre la elettricità, si è ritrovato che quando la lastra è fatta girare in un piano che passa per la linea dell'inclinazione, il galvanometro non è affetto. Ma subito che la lastra è inclinata su questo piano, la elettricità comincia a svilupparsi pel movimento di essa traverso le linee di forza magnetica: essa diventa più potente quando cresce la inclinazione; ed arriva al massimo, quando la lastra gira ad angoli retti sulla linea di inclinazione. Allorquando la rivoluzione è nella stessa direzione di quella dell'indice d'un orologio, la corrente elettrica scorre dal centro di rivoluzione alla circonferenza; e se la rotazione è in dire-

zione contraria, la corrente si mette nella via opposta. Così una lastra di rame girando ad angoli retti sulla linea d' inclinazione, diventa una nuova macchina elettrica, differendo dalla comune macchina a lastra di cristallo pel rame che è il più perfetto conduttore, mentre il vetro è il più perfetto non-conduttore; inoltre l' isolamento, che è essenziale alla macchina a cristallo, è fatale a quella di rame. La quantità di elettricità sviluppata nel metallo non comparisce inferiore a quella sviluppata dal cristallo, sebbene differente in intensità. Anche un vascello attraversando le linee di forza deve avere delle correnti elettriche scorrenti per esso. Faraday osserva che tale è la facilità con che è generata la elettricità per le linee di forza magnetica, che difficilmente un pezzo di metallo può esser mosso senza un disviluppo di essa: per conseguenza tra le disposizioni d' una macchina a vapore e il meccanismo metallico esistono probabilmente delle curiose combinazioni elettro-magnetiche, che non sono mai state indicate finora. Così le linee di forza magnetica certo derivano dalla superficie del globo.

Non vi ha dubbio che la terra sia una magnete di vasta proporzione; ma essa differisce da tutte le altre avendo quattro poli di massima forza magnetica di differenti intensità, due nell' emisfero nordico che hanno un moto secolare in una contraria direzione di quello dei due nel meridionale. Essi non sono neppure situati simetricamente; quindi la magnetica intensità varia tanto nei differenti punti sulla superficie terrestre, che l' equatore dinamico, o la linea che passa per tutti i punti di minima intensità, è un' irregolarissima curva che circonda il globo, ma in nessuna maniera coincide coll' equatore terrestre. In conseguenza della media azione di queste quattro forze, l' estremità nord d' un ago magnetico disposto in modo da girare in un piano verticale, s'abbassa o inclina sotto l' orizzonte nell' emisfero nordico, e la estremità australe nell' australe. I due emisferi sono sepa-

rati da una linea circondante la terra, chiamata l' equatore magnetico, o linea di nessuna inclinazione, nella quale l' abbassamento o l' inclinazione dell' ago è orizzontale. Da ogni lato di questa linea la inclinazione cresce sino a che l' ago diventa perpendicolare all' orizzonte in due punti, o meglio piccoli spazi in ciascun emisfero, conosciuti come poli magnetici, che sono del tutto diversi dai poli della rotazione terrestre. L' azione media dei quattro poli di intensità magnetica fa la bussola del marinaro, o un ago magnetico sospeso in modo da girare su un piano orizzontale, per restare in riposo se è diretto ai due poli magnetici. Esso si ritrova allora nel meridiano magnetico del luogo dell' osservazione, il quale così è determinato per l' azione media di tutte e quattro le forze magnetiche.

Questi medii valori dei tre elementi magnetici, cioè, declinazione, inclinazione o abbassamento, e magnetica intensità, sono ben conosciuti andar soggetti a variazioni secolari, annuali, e diurne. Le secolari solo diventano sensibili dopo alquanti anni, ma le annue e diurne hanno una doppia progressione, cioè due massimi e due minimi valori nei loro rispettivi periodi di un anno e 24 ore; per esempio, l' ago di declinazione fa due deviazioni all' ovest e due all' est nel corso di 24 ore, e questo con una grande regolarità. Ora Sabine scoperse che il doppio progresso nasce da due variazioni combinate e sovrapposte, che hanno ore differenti di massimo e di minimo, e che sono dovute distintamente a due cause differenti: l' una essendo la differenza nella posizione del sole relativamente al luogo di osservazione nelle differenti stagioni dell' anno, ore del giorno e della notte; l' altra essendo una variazione media annua e diurna provata dal general Sabine esistere in quei grandi temporali magnetici o casuali perturbazioni, che modificano i magnetici elementi simultaneamente sopra estesissimi tratti del globo.

Inoltre Sabine scoperse che, oltre queste annue e diurne variazioni; i temporali magnetici hanno una variazione che compie le sue vicissitudini in 10, o quasi 11 anni, l'aumento d'anno ad anno essendo graduale, sino a che il suo massimo diventa due volte così grande che il suo valore minimo. In conseguenza di questa disuguaglianza nei temporali o casuali perturbazioni, ciascuno dei magnetici elementi ha una variazione di periodo simile e di simili massimi e minimi. Ora il numero e la grandezza delle macchie nel sole sono state osservate da Schwabe di Dessau, crescere al massimo e decrescere di nuovo ad un minimo, regolarmente nell'istessissimo periodo di 10 a 11 anni; e Sabine ritrovò che questa variazione nelle macchie solari e quelle negli elementi magnetici, non solo hanno gli stessi periodi di massimi e di minimi, ma esse si corrispondono in tutte le loro piccole vicissitudini. Così una connessione notevolissima ed inaspettata esiste tra il magnetismo terrestre ed il solare. Il principio doppio ed antagonista è perfettamente mantenuto nel magnetismo terrestre, essendo ogni fenomeno e le sue variazioni in direzioni opposte nei due emisferi. (N. 226.)

È certo che le linee di forza magnetica nella terra sono curve chiuse, come nelle calamite artificiali: ma nei loro corsi circolari, esse possono estendersi a qualche distanza nello spazio, o meglio nel mezzo etereo, anche da mille a dieci mila miglia; perocchè il mezzo etereo è permeabile alle linee di forza magnetica, o meglio le trasmette; altrimenti le macchie solari non potrebbero avere influenza sulle variazioni del magnetismo terrestre: di più esse passano a traverso il vuoto Torricelliano, il quale è quasi un vuoto a paragone dell'aria, ma non del mezzo etereo.

L'atmosfera che circonda la terra all'altezza di circa 50 miglia con sensibile densità, consiste di tre parti e mezzo in peso di gas nitrogeno ed una di ossigeno, uniformemente mescolate. Il nitrogeno o azoto è neutrale se

è denso o rarefatto, freddo o caldo, mentre l'ossigeno è altamente paramagnetico, ma perde una gran parte della sua forza, quando è rarefatto per mezzo del calore; conseguentemente la forza magnetica dell'atmosfera deve crescere dall'equatore ai poli di massimo freddo; deve variare l'estate e l'inverno, il giorno e la notte. L'effetto suo sul magnetismo terrestre non si conosce, ma difficilmente può essere senza influenza. Il signor E. Becquerel osserva: « Se noi riflettiamo che la terra è circondata da una massa d'aria equivalente in peso ad uno strato di mercurio di trenta pollici, noi possiamo cercare se questa massa di gas magnetico, continuamente agitata e sottomessa a regolari ed irregolari variazioni di pressione e temperatura non intervenga in alcuni dei fenomeni dipendenti dal magnetismo terrestre. Se calcoliamo infatti, che cosa sia la forza magnetica di questa massa fluida, noi troviamo che è equivalente ad una immensa lastra di ferro, d'una grossezza poco più di $\frac{1}{250}$ di pollice, che copre l'intera superficie del globo. » I poteri conduttori dell'aria e la sua densità sono accresciuti pel freddo; e siccome la somma delle forze magnetiche che derivano dalla terra da un lato della linea di nessuna inclinazione è eguale alla loro somma sull'altro lato, la intensità e la concentrazione nel nostro inverno sono coincidenti con una diffusione e debolezza nell'emisfero opposto, così che la linea della nessuna inclinazione si muoverà annualmente da nord a sud e indietro di nuovo. Lo stesso tiene rispetto al giorno e alla notte. Così la legge della conservazione della forza è rigorosamente osservata; ed è egualmente così dell'effetto dell'atmosfera sulle linee di forza magnetica, che le rifrange quando esse passano a traverso ad essa, in una direzione l'estate, e nell'opposta l'inverno; in una direzione nell'emisfero illuminato, in un'altra nell'emisfero oscuro. L'insieme delle linee magnetiche intorno la terra è tenuto per la loro mutua tensione, in un sistema connesso, sensitivo, che in

ogni parte, agli antipodi ancora, risente un cangiamento verificato in alcuni luoghi particolari.

Si può ricordare come un fatto ben conosciuto, che delle apparenti anomalíe sono state ritrovate nella variazione diurna della declinazione nelle alte latitudini magnetiche dell'emisfero nordico, quando sieno paragonate con la loro grande regolarità in altre parti dello stesso emisfero, e che i temporali magnetici sono di molto maggiore grandezza là che nelle latitudini più basse. Inoltre sebbene le osservazioni del capitano Maguire al Capo Barrow nel nord dell' Oceano Polare, dimostrino che le variazioni annue e diurne delle casuali perturbazioni o temporali magnetici, come quelle del periodo decennale, siano mantenute, nondimeno si vede che a certe ore del giorno la perturbazione nella declinazione può essere orientalmente alla Punta Barrow e occidentalmente all'Osservatorio Magnetico di Toronto, nel Canadà Superiore, e viceversa: infatti i temporali magnetici sono simultanei in queste due stazioni, ma in opposte direzioni: circostanza non valutata ancora, e che può probabilmente dipendere dal cresciuto magnetismo dell'aria in quelle fredde regioni. Il calore del sole non influisce sul magnetismo terrestre, se non forse per la sua indiretta azione sull' ossigeno dell' atmosfera; ma sino adesso questo è stato impercettibile. Non è probabile che l' aurora possa essere indipendente dal carattere magnetico dell' aria, perchè essa accade nelle alte latitudini, dove il magnetismo atmosferico è più potente. Il capitano Maguire notava che essa di frequente avveniva alla Punta Barrow, quando i temporali magneticierano al massimo.

Noi nulla sappiamo della causa del magnetismo terrestre, sebbene la potente influenza delle macchie solari renda molto probabile, che in ultimo sarà ritrovato derivare dal sole istesso. La teoria di Barrow sulle correnti elettriche che girano attorno il globo è convalidata

dalle osservazioni di Fox nelle miniere del Cornich, che dimostrano che l'elettro-magnetismo è molto attivo nelle vene metalliche, che non solo la natura dei depositi metalliferi deve essere stata determinata dalle loro relative condizioni elettriche; ma che la direzione delle vene metalliche deve essere stata influenzata dalla direzione dei meridiani magnetici, ed infatti quasi tutti i depositi metallici del mondo vanno dall' est all' ovest, o dal nord-est al sud-ovest. Nondimeno, queste correnti di elettricità possono essere riguardate come linee di forza magnetica, e più verisimilmente possono essere considerate l'effetto anzichè la causa del magnetismo terrestre. Sono state ritrovate avere un potente effetto induttivo sul telegrafo atlantico, disturbando gli aghi e i galvanometri ad ogni estremità della linea in un grado notevole; e la notte del 6 settembre 1858 un temporale magnetico passava sopra la corda che violentemente agitava il riflettente galvanometro in connessione coi fili telegrafici.

Non conosciamo del pari la causa delle variazioni magnetiche secolari, ma non abbiamo ragioni di credere che la terra sola sia magnetica; al contrario, i pianeti sono probabilmente magnetici, e conosciamo che il sole e la luna sono magnetiche: quindi siccome la forza magnetica come la gravitazione è trasmessa per il mezzo etereo, l' induzione del sole, della luna e dei pianeti, in tutti i loro cangiamenti secolari e periodici, possono cagionare perpetue variazioni nel magnetismo terrestre, e non può essere al di là della esattezza della moderna osservazione l' assicurare se un pianeta, quando è più vicino alla terra, abbia qualche sensibile magnetismo.

Il diamagnetismo ancora è un potere doppio, ma in opposizione completa al paramagnetismo sotto le stesse circostanze. Faraday pel primo scoperse questa proprietà nel cristallo pesante o borosilicato di piombo, un pezzo del quale fu respinto dal polo di una potente elettro-magnete: ed un prisma allungato dello stesso cristallo

pesante, se viene liberamente sospeso tra i poli, si pone equatorialmente. Egli allora ritrovava, che un così gran numero di sostanze seguivano la stessa legge, che stabilì l'importantissimo fatto d'una forza sinora incognita, che agisce sopra le sostanze sottoposte alla sua influenza; scoperta da lui in appresso comprovata con molti esperimenti, i quali tutti dimostrano l'antitesi tra i due modi della azione magnetica. Egli scoperse ancora che i corpi magnetici differiscono estremamente nel loro potere magnetico; che fra i corpi paramagnetici il ferro è il più potente, quindi il nichelio, il cobalto, e una lunga gradazione giù sino all'osmio e al vuoto. Il corpo che sembra avere il più basso potere diamagnetico è l'arsenico, e la serie ascende fino al cristallo pesante, all'antimonio, al fosforo, e al bismuto: così il ferro e il bismuto sono i più potenti nella loro respettiva classe, ed ambedue hanno un piccolo potere conduttivo per la elettricità. Si può presumere che molti esempi notevoli di diamagnetismo s'incontrino in natura; tra gli altri, Faraday ha suggerito l'idea che l'anello di Saturno, per la sua posizione, può essere diamagnetico rispetto al pianeta.

Col mezzo di potentissime calamite o elettro-magneti le quali sono assolutamente necessarie per tutti questi esperimenti, si è ritrovato che nessuna sostanza semplice è neutrale, ma che tali si possono comporre mescolando nella dovuta porzione un liquido diamagnetico e uno paramagnetico, come l'acqua e il protosolfato di ferro.

Il prof. Tyndall provò la polarità diamagnetica mettendo due verghe di bismuto tra due eliche verticali o spirali di filo di rame isolato, traverso le quali le correnti elettriche erano trasmesse da una batteria galvanica, e fatte agire sopra una magnete d'acciaio liberamente sospesa fuori delle spirali. Ora quando il magnetismo è eccitato puramente per induzione, la corrente elettrica, essendo momentanea, produce solo una scossa o deviazione

momentanea nella calamita, la quale ritorna alla sua originale posizione, quando cessa la corrente. Quando al contrario il magnetismo è permanente, la calamita sospesa non ritorna alla sua originale posizione, se la corrente cessa. Nell' esperimento di Tyndall, la deviazione era permanente; e così avveniva se una verga di bismuto era liberamente sospesa, e le verghe dentro le spirali erano magneti d' acciaio. Se l' effetto fosse avvenuto per le correnti indotte nella massa della verga di bismuto, la divisione della verga le avrebbe impedite, ma il risultato sarebbe stato lo stesso, sì col bismuto in polvere, come in massa solida. Inoltre, poichè la forza delle correnti indotte dipende dal potere conduttivo della sostanza, e siccome il potere conduttivo del rame è 40 volte così grande come quello del bismuto, se la polarità fosse stata indotta e non reale, l' effetto dovrebbe esser stato 40 volte maggiore quando delle verghe di rame invece di quelle di bismuto fossero introdotte nelle spirali, mentre ciò appena era sensibile. Oltre queste prove, Tyndall fece degli sperimenti con undici differenti sostanze diamagnetiche, una delle quali era l' acqua, con risultati somiglianti. Egli allora determinò la polarità di 12 corpi paramagnetici col metodo istesso, e quindi vide che la stessa azione che produce un polo nord nei corpi paramagnetici, produceva un polo sud nei diamagnetici, e viceversa; quindi concluse che la polarità diamagnetica è una delle verità scientifiche più fermamente stabilite. Segue da questo che quando un uomo si tiene in piedi, il suo capo è un polo nord e i suoi piedi un polo sud, e la cima di una sbarra di ferro alla quale può essere appoggiato è un polo sud, e l' estremità inferiore un polo nord. I corpi diamagnetici così posseggono una polarità, la stessa in genere, ma opposta in direzione a quella posseduta dai paramagnetici.[1] Sono essi due

[1] Il Matteucci ha sempre dei dubbi su questo soggetto, ma egli non ha ancora finiti i suoi esperimenti.

poteri doppi, e le due forze diamagnetiche come le due paramagnetiche essendo coesistenti, simultanee e reciprocamente dipendenti, non vi può esser dubbio che le forze diamagnetiche ancora sono rappresentate o piuttosto consistono di linee curve e chiuse di forza, che passano per l'interno della sostanza. Tyndall ha provato che l'attrazione del ferro e la ripulsione del bismuto stanno come il quadrato della corrente elettro-magnetica che le produce, e che le sostanze diamagnetiche sono capaci di induzione.

La struttura molecolare delle sostanze liberamente sospese fra i poli d'una magnete ha una influenza decisa sopra la posizione da loro assunta.

È già stato rammentato che l'asse ottico è una linea simmetrica in un cristallo doppiamente rifrangente, nella quale non vi è doppia rifrazione, e che in alcuni cristalli vi sono due linee sì fatte. Ora il prof. Plücker di Bonn scoperse, che quando simili cristalli sono sottomessi a una potente influenza magnetica, l'asse ottico singolare nell'uno, e la risultante o linea media tra i doppi assi ottici nell'altro, stanno diametralmente o ad angoli retti colla linea di forza magnetica; e quel professore ritrovò tanto potente l'azione del magnetismo sulla forma cristallina, che il minerale cianito, quando è sospeso, disponesi tanto recisamente rispetto al magnetismo terrestre, che si può usare come un ago di bussola.

Faraday inoltre osservò che le sostanze amorfe tagliate in forma di sfera non hanno tendenza a collocarsi, o ad essere attratte o respinte in una direzione meglio che in un'altra, ma se la sfera sia formata d'una sostanza cristallizzata, è un fatto generale, che se essa è paramagnetica, o diamagnetica, è più fortemente attratta o respinta, in una direzione che in un'altra: ciò che Faraday nomina azione cristallo-magnetica. Per esempio, una sfera di spato calcare, che è un cristallo diamagnetico, è più fortemente respinta nella direzione del suo asse ottico principale,

e meno nella direzione dell'asse minore. In una sfera di carbonato di ferro, che ha esattamente la stessa forma cristallina, ed è altamente paramagnetico, la linea che nel carbonato di calce si colloca equatorialmente, in questo caso si pone assialmente, e con maggior forza in questa direzione che in nessun' altra. La legge secondo la quale l' attrazione del carbonato di ferro cresce dal minore al suo massimo o principale asse ottico, è precisamente la stessa che quella secondo la quale la ripulsione dello spato calcare cresce dall' asse ottico minore al principale. Queste relazioni non sono alterate dall' immersione delle sfere in liquidi che abbiano l' uno o l' altro magnetismo. Faraday osservava che una linea ad angoli retti ai piani di principale clivaggio dei cristalli prende la posizione dell' asse, e per questo motivo la chiama l' asse cristallo-magnetico. La sua posizione fu trovata da Tyndal e Knoblauch dipendere dal fatto generale, che la massa è fortissimamente respinta nella direzione dei piani di principale clivaggio, e che la elettiva posizione dei cristalli dipende più dalla direzione di questi piani rispetto alla forza elettrica, che dall' asse ottico. I piani di principale clivaggio si mettono equatorialmente nelle sostanze diamagnetiche, ed assialmente nelle paramagnetiche: si è quindi inferito che i fenomeni offerti da cristalli nel campo magnetico è un caso particolare della legge generale, che l' azione superiore di magneti sopra la materia in una particolare direzione, è dovuta alle particelle del corpo, essendo più vicine tra loro in questa direzione che in alcun' altra: in breve, la linea di massima densità; la forza in azione essendo attrattiva o ripulsiva, secondo che le particelle sono paramagnetiche o diamagnetiche.

Si vede nondimeno che la posizione dei cristalli rispetto alla linea di forza magnetica non dipende solo dalla loro densità in direzioni particolari. Il prof. Matteucci ha provato che la forza diamagnetica è in ragion

inversa del potere conduttivo delle sostanze per l'elettricità, che il potere conduttivo è al massimo nei piani di principale clivaggio, e che un ago di bismuto cristallizzato, nel quale i piani di clivaggio sono paralleli alla sua lunghezza, si mette equatorialmente con maggior forza, quando questi piani sono verticali, o ad angoli retti alla forza, che quando sono orizzontali o paralleli ad essa. Sino a qui sono stati fatti esperimenti soltanto con corpi diamagnetici, o debolmente paramagnetici, i quali indussero De Roux a provare l'effetto del magnetismo sul ferro polverizzato compresso per mezzo del torchio idraulico, che riduce i grani del ferro a laminette equivalenti a piani di clivaggio. Dei cubi di questa sostanza, sospesi per mezzo di un filo sopra una calamita a ferro di cavallo, oscillavano per un tempo più lungo quando le laminette erano perpendicolari, che quando erano orizzontali; cioè la forza era più forte quando le laminette erano equatoriali che quando erano assiali, ottenendosi esattamente il risultato istesso che nell'esperimento di Matteucci si aveva coll'ago di bismuto. Così la posizione verticale dei clivaggi, che aumenta il diamagnetismo del bismuto, accresce ancora il paramagnetismo del ferro. Roux osserva che questi risultati sono indipendenti dall'influenza delle correnti elettriche indotte nei corpi oscillanti, perchè il carattere fondamentale dei fenomeni della scoperta di Arago, della rotazione per induzione, si è, che le oscillazioni diminuiscono rapidamente in estensione senza sensibile diminuzione nella loro durata, mentre nei suoi esperimenti il tempo dell'oscillazione variava. Egli conclude che la disposizione delle molecole deve essere intimamente connessa col paramagnetismo o diamagnetismo istesso, poichè l'effetto di quella disposizione è ugualmente sensibile nel bismuto e nel ferro, sebbene il diamagnetismo del primo sia 25,000 volte più debole che il paramagnetismo del secondo.

Il diamagnetismo delle sostanze conduttrici e dei

metalli, come oro, argento e rame è accresciuto dalla divisione. La compressione pure ha un grande effetto sull' azione magnetica. Per esempio, una sbarra di ferro dolce si mette con le sue lunghe dimensioni da polo a polo d' una magnete; ma una sbarra di polvere compressa di carbonato di ferro, le cui più corte dimensioni coincidono con la linea di pressione, si mette equatorialmente. Una sbarra di bismuto il cui piano di principale clivaggio è parallelo alla sua lunghezza, si mette equatorialmente, ma una sbarra di polvere compressa di bismuto, le cui più corte dimensioni coincidono con la linea di pressione, o una sbarra di bismuto i cui principali piani di clivaggio sono trasversi alla sua lunghezza, si mette con la sua lunghezza, assialmente. L' antitesi è perfetta se le sbarre sono sotto l' influenza d' una calamita o di una elettro-calamita. Conciosiachè, essendo la forza diamagnetica in ragione inversa del potere conduttivo d' un corpo per l' elettricità, e questa con un massimo nella direzione dei piani di principale clivaggio, per questo quando questi piani sono paralleli all' asse della sbarra di bismuto, essa si mette equatorialmente: se non che, essendo il potere conduttivo aumentato quando il bismuto in polvere è compresso nella direzione della forza, il potere diamagnetico è diminuito e la sbarra si mette assialmente. Di più, poichè la forza paramagnetica cresce col potere conduttivo, l' azione della calamita sul ferro è opposta a quella sul bismuto.

L' azione di una elettro-magnete sul rame è in forte contrasto con quello che essa pratica sul ferro o sul bismuto. Perocchè quando una verga di rame, sospesa per un filo gira dinanzi a' suoi poli, è portata a fermarsi appena la corrente elettrica agisce sopra di lei, e mantiene la sua posizione con notevole tenacità; perchè non ritorna quando è spinta fuori, ma tiene la sua nuova posizione con fermezza: ciò nonostante appena la corrente elettrica cessa, vi è una forte revulsione, prendendo

la sbarra il contrario cammino. Anche quando si agita con forza notevole, essa può esser presa e ritenuta in una posizione a piacere, ma non vi è revulsione se è fermata o nella posizione equatoriale o nell' assiale: a qualsiasi angolo tra queste due, specialmente poi a mezza via, la elettricità la farà muovere verso l'asse, ma è arrestata prima che vi arrivi. L' azione dipende molto dalla forma e dalle dimensioni della sbarra e del polo magnetico, che deve esser piatto. I fenomeni sono dovuti all' alto potere conduttivo del rame, e s' incontrano in alcuni degli altri metalli puri, sebbene in un grado molto minore.

Un grande potere magnetico è richiesto per tutti questi esperimenti. Faraday adoperava una magnete che poteva sostenere un peso di 450 libbre inglesi ad ogni polo, e i poli erano o appuntati o piatti a piacere, secondo richiedeva l' esperimento.

Il calore modifica fortemente le proprietà magnetiche dei corpi. Faraday ritrovava che quando la temperatura del nichelio è aumentata, la sua forza magnetica diminuisce; quando accresceva quella del ferro, la sua potenza magnetica rimaneva la stessa mentre quella del cobalto cresceva: il che sembra indicare che vi è una temperatura alla quale la forza magnetica è al massimo, sopra e sotto il quale essa diminuisce. Il nichelio perde il suo magnetismo alla temperatura dell' olio bollente, il ferro al calor rosso, e il cobalto vicino alla temperatura alla quale il rame si fonde. Lo spato calcare ritiene il suo carattere magnetico ad un'altissima temperatura; ma la stessa sostanza, quando contiene ferro ed anche ossido di ferro, lo perde interamente alla temperatura del rosso–oscuro. Un cristallo di carbonato di ferro e calce era del tutto rovesciato pel cangiamento di temperatura, perchè a un basso calore l'asse ottico accenna nella direzione dell' asse, ad alta temperatura a quella dell' equatore. Da queste sostanze infuori, i magneto-

cristalli sieno paramagnetici o diamagnetici, sono generalmente tutti modificati pel calore. La differenza tra le forze nelle due differenti direzioni, come per esempio negli assi principali maggiori e minori, diminuisce come cresce la temperatura; aumenta, come la temperatura si abbassa, ed è costante ad una data temperatura. Nessuna sostanza *non mescolata* o *pura* è sinora passata pel calore dallo stato paramagnetico al diamagnetico. Nessun *semplice* magneto-cristallo ha mostrato alcuna inversione di questa sorta, nè alcuno degli assi principali ha cangiato il suo carattere o le sue relazioni reciproche.

Si vede che siccome le molecole dei cristalli e dei corpi compressi modificano il magnetismo, così il magnetismo agisce sopra le molecole della materia; perocchè la torsione diminuisce la forza magnetica, e la elasticità del ferro e dell' acciaio è alterata dal magnetismo. Il professor Matteucci ha ritrovato che la compressione meccanica del vetro altera il potere rotatorio di un raggio di luce polarizzato trasmesso attraverso ad esso, e che un cambiamento ha luogo nella tempera del vetro sotto l' influenza di un potente magnetismo.

Anche dalle limitate vedute dei poteri della Natura che qui precedono, è evidente che il progresso della scienza fondato sull' esperimento tende a mostrare che le varie forze, luce, calore, movimento, chimica affinità, elettricità e magnetismo saranno in ultimo riferite ad una comune origine; che esse sono in così diretta relazione, e reciprocamente dipendenti, che sono convertibili, l' una nell' altra, il movimento producendo il calore, e questo il movimento, l' affinità chimica producendo l' elettricità, e questa l' azione chimica ec., ognuna mediatamente o immediatamente producendo l' altra. Queste forze sono trasmesse per mezzo delle sostanze; agiscono sopra la materia, dando occasione a cangiamenti nella molecolare struttura dei corpi o momentanei o permanenti, e reciprocamente i cangiamenti indicano

l'azione di queste forze. Materia e forza sono solo note a noi come manifestazioni del Potere onnipossente: noi siamo sicuri che non possiamo nè crearle nè distruggerle, che la loro essenza è ora la stessa che al principio. Nell'attrazione chimica, i poteri dei quali una molecola è investita e che danno nascimento a svariate proprietà, non cangiano mai; anche passando per mille combinazioni, la molecola e le sue forze sono sempre le stesse.

Il meccanismo non crea la forza: soltanto ci abilita a volgere le forze naturali a miglior vantaggio: per la forza del vento o per l'acqua cadente avviene che sia macinato il nostro grano, e la macchina a vapore deve la sua forza alla forza del calore e della chimica azione. Siccome la forza non può essere creata, neppure può essere distrutta. Può essere scompartita in diverse direzioni, ed esser divisa tanto da scomparire alle nostre percezioni: può essere equilibrata da averla in aspettativa o diventare attiva come nell'elettricità statica; ma l'istante in cui l'impedimento è tolto, la forza si manifesta per un movimento; può essere ancora cangiata in calore per la confricazione, ma non è mai perduta. Ogni movimento da noi prodotto, ogni soffio, ogni parola nostra, è una forza che produce dei colpi, che son comunicati alle particelle continuamente crescenti dell'aria, e trasportati per mezzo di innumerevoli canali da diventare impercettibili in realtà ai nostri sensi; certo sono essi dimostrati esistere come testimoni delle parole che noi pronunciamo, o delle azioni che facciamo, per mezzo della analisi: strumento onnipotente della ragione umana.[1]

Un corpo acquista calore nell'esatta proporzione con cui le adiacenti sostanze diventano fredde, e se il calore è assorbito da un corpo, esso diventa una forza

[1] Babbage.

espansiva a spese di quelli che sono attorno di esso, ma non è perduto. Nell' azione chimica fino ad una certa distanza, il principio della conservazione della forza è mantenuto, perchè un' azione chimica può esser prodotta delle miglia lontano da un' elettro-calamita perfettamente equivalente all' azione chimica dominante nella batteria. Le due elettricità sono sviluppate in eguali proporzioni, in modo che possono essere combinate da produrre molti cangiamenti nelle rispettive loro relazioni, nonostante che la somma della forza d' una specie non possa mai nel più piccolo grado o eccedere o diminuire la somma dell' altra. Le ricerche esperimentali provano che la conservazione della forza è una legge inalterabile della natura « un principio in fisica così esteso e sicuro come quello dell' indistruttibilità della materia o della invariabilità della gravità. Nessuna ipotesi potrebbe essere ammessa, nè alcuna asserzione di un fatto degno di fede, che neghi questo principio. Niuna veduta sarebbe inconsistente o incompatibile con questo. Molte delle nostre ipotesi nello stato presente della scienza possono escluderlo, e possono essere inabili a suggerire la sua conseguenza; ma niuna potrebbe opporglisi o contradirlo. »

Avendo così espresso la sua convinzione sulla verità di questo gran principio, Faraday considera il caso della gravità, e conclude che « la definizione della gravità come una forza attrattiva tra le particelle della materia variante in ragione inversa del quadrato della distanza, mentre essa sta come una piena definizione della forza, è incompatibile col principio della conservazione della forza. » Perocchè, mentre in questa definizione è mantenuto il principio della costanza della forza *alla stessa distanza,* suppone una creazione di forza ad un montante enorme, se la distanza è diminuita, ed un eguale montante distrutto se questa distanza è cresciuta, « un effetto, egli dice, il quale è eguale nella sua infinità e nelle sue conseguenze alla creazione, e solo nel potere

di Colui che crea. » Faraday continua: non sarà immaginato neppure per un momento che io m' opponga che possa chiamarsi la *legge dell' azione gravitante,* cioè la legge per la quale tutti i noti effetti della gravità sono governati: quello che io considero è la definizione della forza di gravitazione. Che il risultato d'*un* esercizio d' una forza possa essere in ragione inversa del quadrato della distanza, io lo credo e lo ammetto, e conosco che così è nel caso della gravità, ed è stato verificato in una estensione che appena potrebbe essere stata nel concetto di Newton istesso, quando egli annunziò questa legge; ma che la totalità d'una forza possa essere impiegata secondo questa legge, io non lo credo o relativamente alla gravitazione o all' elettricità o al magnetismo o ad alcun' altra forma di forza. Che vi possa essere una forza di gravitazione esistente per sè, senza alcuna relazione agli altri naturali poteri, e alla legge della conservazione della forza, è presso a poco come se vi fosse un principio di leggerezza come di gravità. Questa non può essere che una parte residuale delle altre forze della natura, come Mossotti ha tentato di dimostrare; ma che essa non sia soggetta alla legge di tutte le altre forze, e fuori della portata di esperimenti più lunghi o filosofiche conclusioni, questo non è probabile. Così noi dobbiamo cercare d' imparare maggiormente su questo potere ribelle, e studiarci di evitare una definizione di esso che è incompatibile coi principii della forza in generale: perocchè tutti i fenomeni della natura ci conducono a credere che la grande legge governatrice è una. Questa gravitazione può solo essere considerata come parte d' una forza più generale la cui legge è ancora da scoprirsi.

La definizione della forza di gravitazione suggerisce immediatamente la questione del come essa si trasmette: la forza tutta di questa questione fu sentita dall' istesso Newton quando nella sua lettera a Bentley, scriveva

« che la gravità sia innata, inerente ed essenziale alla materia, cosicchè un corpo possa agire sopra un altro ad una distanza, a traverso il vuoto, senza l'intermezzo di altra cosa per o traverso la quale la loro azione e forza possa essere trasportata dall' uno all' altro, è per me un' assurdità così grande, che io credo che nessun uomo il quale abbia nelle cose filosofiche una competente capacità di ragionare, possa cadervi. La gravità deve essere effetto d' un agente, che costantemente agisce secondo una certa legge; ma se questo agente sia materiale o immateriale, l' ho lasciato alla considerazione dei miei lettori. »

Dopo il tempo di Newton il continuo decrescimento nei tempi periodici delle comete del nostro sistema e la teoria ondulatoria della luce e del calore, hanno provato l' esistenza di un mezzo elastico estremamente rarefatto che riempie lo spazio anche nelle più distanti regioni del cielo, delle quali noi abbiamo conoscenza. Ma per quanto rarefatto esso possa essere, ha inerzia abbastanza per potere resistere al movimento delle comete, e per questo deve essere materiale, sia considerato etere, o, secondo Grove, finissime atmosfere dei corpi celesti. Il prof. Thomson di Glasgow ha calcolato che nello spazio attraversato dalla terra nella sua annua rivoluzione, un cubo il cui lato sia di 1000 miglia conterrebbe non meno d' una libbra di peso del mezzo etereo, e che la terra, movendosi per esso, non sposterebbe che la 250ma parte di quel peso di materia. Ancora, esso è enormemente più denso di quello che la continuazione dell' atmosfera terrestre non sarebbe nello spazio intraplanetario, se fosse rarefatta secondo la legge di Bayle. Ma quale si sia la densità o la natura dell' etere, vi è ogni ragione di credere che esso è il mezzo che trasmette la forza di gravità da un oggetto celeste ad un altro, o probabilmente esso può possedere una proprietà più sublime rispetto alla gravità, che quella della sua semplice trasmissione.

Faraday che discoperse il magnetismo dell'atmosfera, è indotto a credere che il mezzo etereo ancora è magnetico per l' esperimento seguente. Tre soluzioni di protosolfato di ferro *l*, *m*, *n*, la prima delle quali conteneva 4 grani del sale disciolto in un pollice cubico di acqua, la seconda otto grani, e la terza sedici grani, furono rispettivamente rinchiuse in tre globetti di vetro, e tutte furono attratte dal polo d' una magnete. Una quantità della soluzione media *m* fu posta allora in un vaso, e il globetto contenente la più forte soluzione *n* vi fu immerso, ed era attratto come prima, ma il globetto *l*, che conteneva la soluzione più debole, fu respinto quando fu immerso nello stesso liquido. Qui vi è un fenomeno diamagnetico, sebbene i globetti di vetro e il liquido nel quale erano immersi, contenessero ferro. L' effetto era evidentemente differente; perchè, quando il liquido era meno attratto che il globetto, questo s' accostava al polo, e quando il liquido lo era più del globetto, questo pareva s' allontanasse dal polo. In vero l' effetto è lo stesso che quello della gravità sopra un corpo immerso nell' acqua; se esso è più attratto che l' acqua, questa s' abbassa; se meno, l' acqua s' innalza, essendo l' effetto come se fosse respinto dalla terra. Quindi la questione: Sono tutti i fenomeni magnetici il risultato d' un' azione differente di questo genere, ed è il mezzo etereo meno attratto che il ferro dolce, e più fortemente attratto del bismuto, permettendo così l' accostamento del ferro, ma facendo allontanare il bismuto dal polo di una magnete? Se esiste un tal mezzo, cioè se il mezzo etereo è magnetico, allora il diamagnetismo è la cosa stessa che il paramagnetismo, e la polarità della forza magnetica sul ferro e sul bismuto è una sola e stessa cosa.

Può credersi che il mezzo etereo trasmetta la forza di gravità: esso trasmette il magnetismo delle macchie solari, le sue ondulazioni costituiscono la luce, il calore, e

tutte le influenze del raggio solare; e il vuoto più perfetto per noi possibile a farsi, è capace della trasmissione dell' energia meccanica in enormi quantità, alcune delle quali non differiscono che poco da quella dell' aria o dell' ossigeno all' ordinaria pressione del barometro: e perchè così non ammettere, dice Thomson, la proprietà magnetica, della quale noi sappiamo così poco, che non abbiamo diritto a pronunciare una negativa?

Waterston è pure d' opinione che sarebbe un modo di vedere troppo ristretto, se noi limitiamo la funzione dell' etere luminifero solo al trasporto delle fisiche impulsioni. L' atmosfera ancora propaga gli impulsi fisici, ma questa è la meno importante delle sue funzioni nell' economia della natura.

Non vi è cosa che ci impedisca di attribuire ai mezzi impiegati nell' irraggiamento della luce e del calore le funzioni più sublimi dell' elettrica polarità e della gravitazione. Le speciali disposizioni dinamiche, per le quali ciò è messo in esecuzione, possono sempre eludere le nostre ricerche, ma siccome non vi è nessun limite alla *vis viva* (N. 222) che può conservare questi mezzi nelle loro parti le più minute, così non vi è impossibilità fisica che la *vis viva* sia improvvisamente trasportata alle molecole della materia ordinaria nella proporzione e nel seguito richiesti a mostrare l' ordine e il sistema della natura.

Il principio fondamentale d' azione in questi mezzi deve essere d' accordo con *elastico slancio*, perocchè sopra questo la teoria dinamica del calore e la conservazione della forza si posa, come sopra suo fondamento. La caratteristica statica e dinamica della gravitazione e trasfusione della forza si conformano a questo, così che tutte le forze che tengono le molecole dei corpi insieme, devono ancora essere a questo soggette.[1]

[1] Phil. Mag. for May 1858.

SEZIONE XXXV.

Mezzo etereo — Comete — Non perturbano il sistema solare — Loro orbite e perturbazioni — La Cometa di Faye, probabilmente è la stessa di quella di Lexel — Periodi conosciuti di altre tre — Accelerazione nei moti medii delle Comete di Encke e di Biela — L'urto d'una Cometa — Azione perturbatrice della terra e dei pianeti sulle Comete di Encke e di Biela — Velocità delle Comete — La Cometa del 1264 — La gran Cometa del 1843 — Costituzione fisica — Splendore per luce non propria — Loro numero.

Considerando la costituzione della terra ed i fluidi che la circondano, vari soggetti si sono presentati alla nostra ricerca, alcuni dei quali, per quello che noi sappiamo, sono confinati al pianeta che abitiamo, alcuni sono comuni a lui insieme agli altri corpi del nostro sistema. Ma un etere che invade tutto, probabilmente deve riempire le visibili cose create, poichè trasporta sotto la forma di luce, tremiti che possono essere stati eccitati nei recessi i più profondi dell'universo, migliaia di anni prima che noi fossimo chiamati all'esistenza. Che un tal mezzo esista, sebbene ipotetico da prima, è quasi dimostrato dalla teoria ondulatoria della luce, e reso certo da pochi anni pel movimento delle comete, e per l'azione sua sui vapori, dei quali esse sono principalmente composte. È stato spesso pensato che oltre gli effetti del calorico e dell'elettricità, le code delle comete avessero infuso novelle sostanze nella nostra atmosfera. È possibile che la terra attragga alcuna cosa di quella materia nebulosa, poichè i vapori innalzati dal calore solare, quando le comete sono nel perielio e che formano la loro coda, sono dispersi per lo spazio al loro passaggio nell'afelio: ma questo sino ad ora non ha prodotto nessuno effetto, nè le stagioni sono mai state modificate da questi corpi. La luce della cometa del 1811 che fu

brillantissima, non diede nessun calore, sebbene fosse condensata sul bulbo d' un termometro di una costruzione così delicata che avrebbe fatto sensibile la 100ma parte di un grado. Probabilissimamente le code delle comete possono essere passate sulla terra senza che gli abitanti di questa siensi accorti della loro presenza, e vi è ragione di credere che la coda della grande cometa del 1843 abbia fatto così. Valz osservò che la luce di una brillante cometa fu ecclissata passandovi sopra una stella di 7ma grandezza, quindi Babinet calcolava che la luce della cometa doveva essere stata 60 volte meno di quella della stella, e che la materia così rarefatta non potrebbe penetrare l' atmosfera terrestre: ma la costituzione di questi corpi è ancora un argomento di congettura.

Il passaggio delle comete non ha mai sensibilmente disturbato la stabilità del sistema solare; il loro nucleo, essendo generalmente solo una massa di vapore, è così rarefatto, ed il passaggio loro così rapido, anche quando esse hanno una parte solida, che non vi è tempo abbastanza lungo per ammettere un' accumulazione sufficiente di urti per produrre un' azione percettibile. Infatti Dusejour ha provato che sotto le circostanze le più favorevoli una cometa non può restare più di due ore e mezzo ad una distanza dalla terra minore di 10,500 leghe. La cometa del 1770 passava alla distanza quasi 6 volte dalla luna alla terra senza neppure modificare le nostre maree. Secondo La Place l'azione della terra sulla cometa del 1770 accrebbe il periodo della sua rivoluzione per più di due giorni, e se le comete avessero una percettibile azione perturbatrice, la reazione della cometa avrebbe dovuto aumentare la lunghezza del nostro anno. Se la massa di questa cometa fosse stata eguale alla massa della terra, la sua azione perturbatrice avrebbe cresciuta la lunghezza dell' anno sidereo di due ore e 53^{m}. Ma siccome il calcolo di Delambre dalle osservazioni di Greenwich sul sole dimostra che la

lunghezza dell'anno non è stata aumentata nemmeno d'una frazione di un secondo, la massa della cometa non ha potuto essere eguale ad $\frac{1}{1000}$ parte di quella della terra. Questo vale per la stessa cometa che è passata due volte per il sistema dei Satelliti di Giove senza disturbare il movimento di quelle lune. Dusejour ha calcolato che una cometa eguale in massa alla terra che passasse ad una distanza di 12,150 leghe dal nostro pianeta, accrescerebbe la lunghezza dell'anno fino a 367 giorni, 16 ore e 5 minuti, e l'obliquità dell'eclittica di 2°. Così l'azione principale delle comete sarebbe di alterare il calendario, qualora fossero abbastanza dense per influire sulla terra.

Le comete attraversano tutte le parti del cielo; le loro orbite hanno ogni possibile inclinazione al piano dell'eclittica, e, dissimili ai pianeti, il movimento di più che la metà di quelle che sono comparse è stato retrogrado, cioè dall'est all'ovest. Esse solo sono visibili quando si trovano vicine al loro perielio: allora la loro velocità è tale, che il suo quadrato è due volte così grande che quello d'un corpo che si muovesse in un cerchio alla stessa distanza: per conseguenza le comete non rimangono che per brevissimo tempo fra le orbite planetarie. E siccome tutte le sezioni coniche della medesima distanza focale sensibilmente coincidono per un piccolo arco ad ogni lato dell'estremità del loro asse, è difficile l'assicurarsi in quale di queste curve le comete si muovono, dalle osservazioni fatte, come di necessità, vicino ai loro perieli. (N. 227.) Probabilmente tutte le comete si muovono secondo ellissi estremamente eccentriche, sebbene nella massima parte dei casi la curva parabolica coincida prossimamente assai coi movimenti osservati. Alcune poche sembrano descrivere delle iperbole: queste tali comete essendo una sol volta a noi visibili, svanirebbero per sempre, girando nell'immenso spazio fino ai remoti sistemi dell'universo. Se si suppone che un pia-

neta si rivolga in un'orbita circolare, il cui raggio sia eguale alla distanza del perielio di una cometa che si muove in una parabola, le aree descritte da questi due corpi nel tempo stesso saranno come l'unità alla radice quadrata di due; il che forma tale connessione tra il moto delle comete e dei pianeti, che per la legge di Keplero, la ragione delle aree descritte durante il tempo stesso da una cometa e dalla terra può essere ritrovata; cosicchè la posizione d'una cometa può essere calcolata in qualunque tempo nella sua orbita parabolica, dietro l'istante del suo passaggio al perielio.

Egli è un problema di grandissima difficoltà il determinare tutti gli altri elementi del movimento parabolico, cioè la distanza del perielio della cometa, o la più breve distanza dal sole calcolata in parti della distanza media della terra dal sole, la longitudine del perielio, l'inclinazione dell'orbita sul piano dell'eclittica, e la longitudine del nodo ascendente. La osservazione di tre longitudini e latitudini di una cometa sono bastanti per calcolare i valori approssimativi di queste quantità. Ma un calcolo accurato di esse può solo ottenersi per successive correzioni da un certo numero di osservazioni, distanti l'una dall'altra. Quando il movimento di una cometa è retrogrado, la posizione del nodo ascendente è esattamente opposto a quello che è quando il movimento è diretto. Quindi la posizione del nodo ascendente insieme con la direzione del movimento della cometa, dimostra se l'inclinazione dell'orbita è sul lato nord o sud del piano dell'eclittica. Se il movimento è diretto, l'inclinazione è sul lato nord; se retrogrado, è sul lato sud.

L'identità degli elementi è la sola prova del ritorno di una cometa nel nostro sistema. Se gli elementi di una nuova cometa fossero gli stessi o quasi gli stessi con quelli di una conosciuta anteriormente, la probabilità dell'identità dei due corpi è grandissima: poichè

la somiglianza si estende a non meno che quattro elementi, ognuno dei quali è capace di un' infinità di variazioni. Ma anche se l' orbita sia determinata con tutta l' accuratezza che il caso particolare ammette, può essere difficile ed anche impossibile riconoscere una cometa al suo ritorno, essendo che la sua orbita sarebbe di molto cangiata, se fosse passata vicino ad alcuno dei grandi pianeti di questo o d' altro sistema, in conseguenza della loro azione perturbatrice, che sarebbe grandissima su corpi d' una natura cotanto rarefatta.

L' esempio più curioso ed importante dell' azione perturbatrice dei grandi corpi del nostro sistema, si ritrova nella cometa del 1770. Gli elementi dell' orbita determinata da Messier non convenivano con quelli di alcuna cometa stata sino allora calcolata: nondimeno Lexel si accertò ch' essa descriveva un' ellisse attorno al sole, il cui asse maggiore era solo eguale tre volte la lungbezza del diametro dell' orbita terrestre, e che conseguentemente doveva ritornare al sole ad intervalli di 5 anni e mezzo. Questo risultato fu confermato da osservazioni numerose, in quanto che la cometa era visibile per un arco di 170°; eppure questa cometa non era mai stata osservata prima del 1770, nè lo è stata di nuovo fino al 1843, sebbene brillantissima. L' azione perturbatrice dei grandi pianeti somministra la spiegazione di quest' anomalia: siccome Lexel assicurava che nel 1767 la cometa doveva essere passata vicino a Giove ad una distanza minore che la 58ma parte della sua distanza dal sole, e che nel 1779 sarebbe stata 500 volte più vicina a Giove che al sole, conseguentemente l' azione del sole sulla cometa non sarebbe la 50ma parte di quella che avrebbe sofferto da Giove, così Giove diveniva il *primum mobile*. Ritenendo essere l' orbita tale quale Lexel l' ha determinata nel 1770, La Place ritrovava che l' azione di Giove anteriormente all' anno 1770 aveva tanto completamente cangiata la forma della

cometa, che questa che era stata a noi invisibile prima del 1770, era allora portata alla nostra vista, e l' azione dello stesso pianeta, producendo un effetto contrario, l' ha susseguentemente a quell'anno rimossa dalla nostra vista: poichè è stato calcolato ch'essa si rivolga in un' orbita, il cui perielio è al di là dell' orbita di Cerere. Contuttociò l' azione di Giove durante l' estate del 1840 deve essere stata così grande per la prossimità a quel corpo singolare, che sembra averlo portato indietro alla sua prima orbita, come aveva fatto nel 1767: perocchè gli elementi dell' orbita d' una cometa che fu scoperta nel novembre 1843 da Faye concordavano tanto con quelli dell' orbita della cometa di Lexel, che i due corpi furono supposti identici: pel calcolo posteriore di Le Verrier si vide nondimeno che non sono gli stessi, che tutti e due sono portati al nostro sistema dall' attrazione di Giove, e che sono stati in questo sistema più d' un secolo, e spesso vicino alla terra senza essere stati veduti. Per la piccolezza dell'eccentricità della cometa di Lexel, l' orbita rassomiglia quelle dei pianeti, ma questa cometa è soggetta a maggiori perturbazioni che alcun altro corpo del sistema, a motivo che viene dappresso assai all' orbita di Marte quando è nel perielio, e vicinissima a quella di Giove, quando è nell' afelio: inoltre passa a una distanza comparativamente piccola dalle orbite dei pianeti minori, e siccome essa continuerà ad attraversare l' orbita di Giove ad ogni rivoluzione sino a che i due corpi s' incontrino, il suo tempo periodico ora di circa 7 anni cangerà di nuovo, ma frattanto deve esser ritornata al perielio nel 1851. Questa cometa poteva essere stata veduta dalla terra nel 1776, se la sua luce non fosse stata ecclissata da quella del sole.

Vi è ancora tanto dubbio rispetto alla cometa di Lexel, che durante l' anno 1858 Le Verrier ha costrutta una tavola di tutte le orbite nelle quali la cometa può essersi mossa dopo aver lasciato Giove nel 1770: tavola che abili-

terà gli astronomi a riconoscere la cometa quand' anche fossero gli elementi della sua orbita di molto alterati. Egli crede probabile, che il suo cammino possa essere divenuto iperbolico, ma che sia più verosimile che un aumento del suo tempo periodico possa avere avuto luogo. È del tutto probabile che le comete che frequentano il nostro sistema possano essere deviate, od altre portate al sole per attrazione di pianeti che fanno le loro rivoluzioni al di là dell' orbita di Nettuno o per quella di corpi anche più lontani dalla solare influenza.

Altre comete soggette a minori perturbazioni ritornano al sole ad intervalli stabiliti. Halley calcolò gli elementi dell' orbita d' una cometa che appariva nel 1682 che convenivano così d' appresso con quelli della cometa del 1607 e del 1531, ch' ei concludeva essere lo stesso corpo che ritornava al sole ad intervalli di circa 75 anni. In conseguenza predisse la sua ricomparsa nel 1758 o al principio del 1759. La scienza non era abbastanza progredita al tempo di Halley, per abilitarlo a determinare le perturbazioni che questa cometa poteva soffrire, ma Clairaut calcolava che in conseguenza dell' attrazione di Giove e di Saturno il suo tempo periodico sarebbe stato più breve che durante la rivoluzione tra il 1607 e il 1682, e che passerebbe al suo perielio ai 18 aprile 1759. La cometa arrivò a quel punto della sua orbita ai 12 di marzo: 37mo giorno prima del tempo assegnato. Clairaut posteriormente ridusse l' errore a 23 giorni, e La Place ha dipoi dimostrato che sarebbe stato solo di 13, se la massa di Saturno fosse stata così bene conosciuta come è adesso. Si vede da questo che l' orbita della cometa non era conosciuta del tutto a quel tempo, e sebbene molte osservazioni fossero allora fatte, esse erano lontane dall' arrivare all' accuratezza di quelle de' giorni presenti. Inoltre, dopo il 1759 l' orbita della cometa è stata alterata dall' attrazione di Giove in una direzione, e da quella di Saturno, Urano e Nettuno nell' altra;

nondimeno ad onta di queste sorgenti d'incertezza e della nostra ignoranza di tutte le cause possibili di disordine a causa di corpi ignoti sui confini del nostro sistema o nelle regioni al di là di esso, la cometa è apparsa esattamente al tempo e non lungi dal luogo assegnatole dagli astronomi, e il suo reale arrivo al perielio un poco prima del mezzodì 16 novembre 1835 solo differiva dal tempo calcolato per pochissimi giorni, il che probabilmente si deve all'attrazione di Nettuno.

L'adempimento di questa astronomica predizione è veramente maraviglioso, se si considera che la cometa è veduta solamente per poche settimane durante il suo passaggio a traverso il nostro sistema, e che va errando lungi dal sole per 7 anni alla distanza doppia di quella di Urano. Questa enorme orbita è quattro volte più lunga che larga, la sua lunghezza è circa 3,420 milioni di miglia o circa trentasei volte la distanza media fra la terra ed il sole. Al suo perielio la cometa viene alla distanza di quasi 57 milioni di miglia dal sole, e al suo afelio è sessanta volte più distante. A motivo di questa lunga escursione essa deve provare tremila seicento volte più luce e calore quando è più vicina al sole che nel punto più remoto della sua orbita. In una posizione il sole sembrerà quattro volte maggiore che apparisca a noi; e all'altra non parrà maggiore di una stella. (N. 228.)

Al primo comparire della cometa d'Halley nel principio dell'agosto 1835 sembrava essere puramente una massa globulare di denso vapore senza coda. Una concentrazione di luce, un poco ad un lato del centro, cresceva come la cometa accostavasi al sole e alla terra, ed in ultimo compariva tanto simile al disco d'un piccolo pianeta, che poteva essere sbagliata per un nucleo solido. Struve nondimeno vide un'occultazione centrale d'una stella di 9ª grandezza in causa della cometa, a Dorpat, il 29 settembre. La stella rimaneva costantemente visibile senza una notevole diminuzione di luce, ed in

luogo di essere ecclissata, il nucleo della cometa scompariva al momento di congiunzione, per la lucentezza della stella. La coda cresceva come la cometa s' accostava al suo perielio, e poco tempo prima che fosse perduta nei raggi solari, era tra i 30° e i 40° di lunghezza.

Secondo le osservazioni di Valz la nebulosità cresceva in grandezza come s' accostava al sole, ma nessun' altra cometa, che si ricordi, ha presentato tali improvvisi ed inesplicabili cangiamenti d' aspetto. Essa fu invisibile per due mesi, quando era vicina al passaggio del suo perielio, e quando ricomparì, il 24 gennaio 1836, il suo aspetto era totalmente cambiato: non aveva coda, e ad occhio nudo era simile a una stella nebulosa; ma con un potente telescopio presentava un nucleo piccolo rotondo, d'aspetto planetario, di 2″ in diametro, circondato da una chioma estesa, e nel centro aveva una piccola parte lucente e solida. Il nucleo chiaro e ben definito simile al disco d' un pianeta si vide una volta diventare oscuro ed allargare nel corso di poche ore. Ma la più notevole circostanza fu l' improvviso comparire di certi pennelli o settori divergenti dal centro del nucleo a traverso la nebulosità. Struve descrive il nucleo della cometa al principio di ottobre come ellittico e come un carbone acceso, dal quale usciva, in una direzione quasi opposta alla coda, una fiamma divergente, che variava in intensità, forma e direzione, apparendo alle volte anche doppia ed eccitando l' idea di un gas luminoso che bruciava entro il nucleo. Durante una osservazione Arago vide tre di queste fiamme luminose divergenti sul lato opposto alla coda, che sorgevano tra la nebulosità, ch' esse superavano di molto in lucentezza: dopo che la cometa ebbe passato il perielio acquistò un altro di que' luminosi ventagli che fu osservato da G. Herschel al Capo di Buona Speranza. Hevelius descrisse un fenomeno precisamente simile, che egli aveva verificato in questa cometa al suo avvicinamento al sole nell' anno 1682, e qualche

cosa di simile sembra essere stato indicato nella cometa del 1744. Probabilmente la seconda coda della cometa del 1724, la quale era diretta verso il sole, sarà stata di questa natura.

L'influenza del mezzo etereo sui movimenti della cometa di Halley sarà conosciuta dopo un'altra rivoluzione, ed i futuri astronomi impareranno dalla precisione del suo ritorno se ha incontrato nessuna causa ignota di perturbazione nel suo lontano viaggio. Pianeti invisibili, al di là del confine visibile del nostro sistema, possono mutarne l'orbita e il periodo di rivoluzione, e così rivelarci indirettamente la loro esistenza ed anche la loro fisica natura e l'orbita. I secreti dei cieli anche i più lontani, possono essere dischiusi alle future generazioni dalle comete che penetrano anche più lontano nello spazio, come quella del 1763, la quale, se alcuna fede si può prestare al calcolo, andava quasi 43 volte più lungi dal sole di quella di Halley, e ci dimostra che l'attrazione solare è abbastanza potente all'enorme distanza di 15,500 milioni di miglia per richiamare la cometa al perielio. I periodi di alcune comete si dicono essere di molte migliaia d'anni, ed anche il tempo medio della rivoluzione delle comete generalmente è circa un migliaio d'anni; il che prova che la forza di gravitazione solare si estende molto lontano. La Place stimava che l'attrazione del sole fosse sentita a traverso una sfera, il cui raggio è un cento milioni di volte maggiore della distanza della terra dal sole.

Le memorie autentiche della cometa di Halley non si estendono al di là del 1456: nondimeno essa può essere tracciata con qualche grado di probabilità, anche ad un periodo precedente l'era cristiana. Ma siccome la prova ripósa solo sulle coincidenze del suo tempo periodico, che può variare fino a 18 mesi per l'azione perturbatrice dei pianeti, la sua identità con le comete di tali tempi remoti, deve essere riguardata come dubbiosissima.

Questa è la prima cometa la cui periodicità sia stata stabilita. È dunque la prima ancora i cui elementi sieno stati determinati dalle osservazioni fatte in Europa; perocchè, sebbene le comete che comparvero negli anni 240, 539, 565 e 837, siano le più antiche di quelle le cui orbite sieno state tracciate, i loro elementi furono calcolati dalle osservazioni Chinesi.

Oltre le comete di Halley e di Lexel, dieci o dodici altre sono ora note formar parte del sistema solare, cioè che ritornano al sole in determinati periodi. Sei di queste hanno periodi minori di otto anni. La cometa generalmente chiamata di Encke, o la cometa a corto periodo, fu da prima veduta da Messier e Mechain nel 1786, di nuovo da Miss Herschel nel 1805, e i suoi ritorni negli anni 1805 e nel 1819 furono osservati da altri astronomi sotto l'impressione che tutte e quattro fossero corpi differenti. Nondimeno Encke non solo provò la loro identità, ma determinò le circostanze del movimento della cometa. Le ricomparse di essa negli anni 1825, 1828 e 1832 convenivano con l'orbita assegnata da Encke, che così stabilì la lunghezza del suo periodo essere 1204 giorni approssimativamente. Questa cometa è piccolissima, di luce debole ed invisibile ad occhio nudo eccettuato in alcune favorevolissime circostanze ed in posizioni particolari. Essa non ha coda, gira in un' ellisse di grande eccentricità inclinata ad un angolo di 13° 22′ al piano dell'eclittica, ed è soggetta a notevoli perturbazioni per l'attrazione dei pianeti, che cagiona delle variazioni ne' suoi tempi periodici. Fra le molte perturbazioni alle quali i pianeti sono soggetti, i loro movimenti medi, e per questo gli assi maggiori delle loro orbite, non soffrono cangiamenti; mentre al contrario il movimento medio della luna è accelerato di secolo in secolo: circostanza da prima attribuita alla resistenza di un medio etereo che riempie lo spazio, ma posteriormente dimostrato derivare dalla diminuzione secolare dell' eccentricità dell' orbita

terrestre. Sebbene la resistenza d'un tal mezzo non sia stata sino adesso conosciuta dai movimenti de' corpi densi come i pianeti ed i satelliti, gli effetti di essa nelle rivoluzioni delle comete non lasciano dubbio della sua esistenza. Per le numerose osservazioni che sono state fatte ad ogni ritorno della cometa a corto periodo, gli elementi sono stati calcolati con grande accuratezza nell' ipotesi del suo movimento nel vuoto. Le sue perturbazioni cagionate dall' azione perturbatrice dei pianeti sono state determinate, e dopo che tutto ciò che avrebbe potuto influire sul movimento della cometa, fu debitamente considerato, Encke ritrovò che un' accelerazione di circa due giorni in ogni rivoluzione è avvenuta nel suo movimento medio precisamente simile a quella che sarebbe prodotta dalla resistenza d'un medio etereo. E siccome questo non può essere attribuito ad una causa come quella che produce l' acceleramento lunare, si deve concludere che i corpi celesti non compiono le loro rivoluzioni in un vuoto assoluto, e che, sebbene il mezzo sia troppo rarefatto per avere un sensibile effetto sulle masse dei pianeti e dei satelliti, nondimeno ha una notevole influenza sopra i corpi così rarefatti come le comete. Per quanto contradditorio possa sembrare che il movimento di un corpo sia accelerato dalla resistenza d' un medio etereo, la verità diventa evidente, se si considera che e pianeti e comete sono ritenuti nelle loro orbite da due forze che esattamente bilanciansi, cioè: la forza centrifuga, che produce la velocità secondo la tangente, e l' attrazione della forza di gravità diretta al centro solare. Se una di queste forze venga diminuita per qualche causa, l' altra sarà proporzionatamente accresciuta. Ora l' effetto necessario di un mezzo resistente è di diminuire la velocità tangenziale, cosicchè viene distrutto l' equilibrio, la gravità prepondera, il corpo discende verso il sole, sino a che l' equilibrio è di nuovo stabilito tra le due forze;

Digitized by Google

e siccome esso allora descrive un' orbita più piccola, si muove con velocità accresciuta. Così la resistenza d' un medio etereo realmente accelera il movimento d' un corpo, ma siccome la forza resistente è confinata al piano dell' orbita, essa non ha influenza sull' inclinazione dell' orbita o sopra la posizione dei nodi. Nel calcolarne l'effetto, Encke supponeva l'aumento esser in ragione inversa dei quadrati delle distanze, e che la sua resistenza agisca come una forza tangenziale proporzionale ai quadrati della reale celerità della cometa in ogni punto dell' orbita. Un' altra cometa che appartiene al nostro sistema, la quale ritorna al perielio dopo un periodo di 6 anni e $\frac{1}{4}$, è stata accelerata nel suo movimento per un intero giorno durante una sola rivoluzione, il che mette l' esistenza dell' etere quasi al di là di ogni dubbio, e conferma la teoria ondulatoria della luce. Dappoichè questa cometa, che rivolgesi approssimativamente tra le orbite della terra e di Giove, è solo accelerata d' un giorno ad ogni rivoluzione, mentre quella di Encke che si rivolge quasi tra le orbite di Mercurio e di Pallade è accelerata di due, il mezzo etereo deve crescere in densità verso il sole. La cometa in discorso fu scoperta da Biela a Josephstadt il 27 febbraio 1826, e 10 giorni dopo fu veduta da Gambart a Marsiglia, che calcolò i suoi elementi parabolici, e ritrovò ch' essi convenivano con quelli delle comete comparse nel 1789 e 1795. Quindi concludeva essere esse un solo corpo che si muove in un' ellisse e compie la sua rivoluzione in 2,460 giorni. Le perturbazioni di questa cometa furono calcolate da Damoiseau, che predisse ch' essa attraverserebbe il piano dell' eclittica il 29 ottobre 1832 un poco prima di mezza notte, ad un punto quasi 18,484 miglia lungi dall' orbita terrestre; e siccome Olbers di Brema nel 1805 aveva determinato il raggio della testa della cometa essere circa 21,136 miglia, era evidente che la sua nebulosità avrebbe avviluppata una porzione del-

l' orbita della terra: circostanza che produsse qualche allarme in Francia, dal sapersi che se una causa perturbatrice avesse differito l' arrivo della cometa per un mese, la terra avrebbe dovuto passare a traverso la testa della cometa. Arago dissipò questi timori con un suo trattato eccellente sulle comete nell'Annuario del 1832, dove prova che siccome la terra non sarebbe mai più vicina alla cometa di 18,000,000 di leghe britanniche, non vi poteva essere nessun pericolo di collisione. La terra è in maggior pericolo per queste due comete piccole che per alcun' altra. Quella di Encke attraversa l' orbita terrestre sessanta volte in un secolo, e può in ultimo venire a collisione, ma tutte e due sono così rarefatte, che poco danno havvi a temere.

La terra cadrebbe sul sole in 64 giorni e $\frac{1}{2}$, se fosse urtata da una cometa con forza sufficiente per distruggere la sua forza centrifuga. Quale possa essere la primitiva velocità della terra è impossibile a dirsi. Una cometa per altro può averla urtata senza cangiare l' asse di rotazione, ma solo distruggendo parte della sua velocità tangenziale talmente, da diminuire la grandezza dell' orbita, cosa in nessuna maniera impossibile, sebbene improbabilissima. In ogni caso, non vi è prova che questo sia accaduto, ed è manifesto che l' asse della rotazione della terra non è stato cangiato: a motivo che siccome l' etere non presenta sensibile resistenza ad un corpo così denso come la terra, la librazione a questo giorno sarebbe evidente nella variazione che dovrebbe essersi prodotta nelle terrestri latitudini. Supponendo che il nucleo d' una cometa abbia un diametro solo eguale alla quarta parte di quello della terra, e che il suo perielio sia più vicino al sole di quello che non siamo noi stessi, la sua orbita essendo d' altronde ignota, Arago ha calcolato che la probabilità che la terra riceva un urto dal nucleo è solo di 1 in 284 milioni, e che il caso del nostro incontro con la sua nebulosità è circa dieci

o dodici volte più facile. Soltanto le comete con movimento retrogrado possono venire in aperta collisione con la terra, e se il colpo fosse grande, l'accidente potrebbe esser fatale; se non che, in generale, la sostanza delle comete è così rarefatta, che è verisimile che non farebbero molto danno se succedesse un incontro, ed anche in questo caso il disordine sarebbe probabilmente locale, e l'equilibrio subito ristabilito, purchè il nucleo fosse gassoso o piccolissimo. Egli è tuttavia più probabile che la terra sarebbe solo deviata un poco dal suo corso per l'avvicinamento d'una cometa senza esserne tocca. Le comete che sono venute il più da vicino alla terra furono quella dell' 837, che restò 4 giorni a distanza minore di 1,240,000 leghe dall' orbita nostra, quella del 1770 che si accostò alla distanza di circa sei volte quella della luna, la famosa del 1680 ancora venne vicinissima a noi, e la cometa il cui periodo è 6 anni e $\frac{3}{4}$ era 10 volte più vicino alla terra nel 1805 che nel 1832, quando produsse così grande allarme.

Le comete di Encke e di Biela sono ora molto lontane dall' influenza di Giove, ma non resteranno sempre così, essendo che gli afeli e i nodi delle orbite di queste due comete essendo i punti che si accostano di più all'orbita di Giove, ad ogni incontro del pianeta e delle comete che avrà luogo, l'asse maggiore della cometa di Encke sarà cresciuto, e quello della cometa di Biela diminuito, sino a che nel corso del tempo, quando la vicinanza sia abbastanza grande, le orbite saranno completamente cangiate siccome quella di Lexel lo fu nel 1770.

Ogni 23 anni, o dopo sette rivoluzioni della cometa di Encke, la sua maggiore prossimità a Giove avviene, ed in quel tempo la sua attrazione cresce il periodo della sua rivoluzione di 9 giorni: circostanza che accadde nella fine degli anni 1820 e 1843. Ma per la posizione dei corpi vi è una diminuzione di 3 giorni nelle sei seguenti rivoluzioni, che riduce l'aumento a 6 giorni in 7

rivoluzioni. Così prima del 1819 il tempo periodico della cometa di Encke era di 1,204 giorni, mentre era di 1,219 nel compire la rivoluzione che finiva nel 1845. Per questo progressivo incremento l'orbita della cometa arriverà a quella di Giove in 7 od 8 secoli, e allora per la vicinanza dei due corpi essa sarà totalmente cangiata.

Al presente la Terra e Mercurio hanno la maggiore influenza sui movimenti delle comete di Encke e di Biela, e l'hanno avuta per così lungo tempo, che, secondo il calcolo di Airy, l'orbita presente dell'ultima fu formata per l'attrazione della Terra, e quella della cometa di Encke dall'azione di Mercurio. Rispetto all'ultima, questo evento deve essere accaduto nel febbraio 1776. Nel 1786 la cometa di Encke aveva coda e nucleo, ora non ha nè l'una nè l'altro: esempio singolare della possibilità della loro scomparsa. Essa era al perielio nel 1855. Nel 1846 la cometa di Biela era divisa in due corpi distinti: per quale strano accidente, è un mistero. I nuclei delle due comete erano separati da circa 150,000 miglia, viaggiavano insieme con le loro code parallele, ed un arco di luce sopra le loro teste. Sino a quel tempo la cometa di Biela non era mai stata veduta con la coda. La nuova testa era da prima oscura, poi crebbe in grandezza e splendore, sino a che sorpassò la sua compagna in ambe le cose: inoltre essa aveva nel suo centro un punto lucido che scintillava come un diamante; gradatamente riprese la sua apparenza fosca, e il suo periodo era calcolato essere otto giorni più lungo che quello della testa originale. Erano separate ad una grande distanza l'una dall'altra nel 1853, ma viaggiavano sempre insieme, l'una essendo divenuta più piccola dell'altra.

Una cometa scoperta da Brorsen di Kiel il 26 febbraio 1846 venne il seguente 20 aprile quasi tanto accosto a Giove quanto il suo quarto Satellite, e l'attrazione di Giove deve essere stata 10 volte maggiore che quella del Sole: così vi è ogni ragione di credere che l'orbita

della cometa sarà tanto alterata, quanto quella della cometa di Lexel; e un' altra scoperta dal padre De Vico a Roma il 22 agosto sarà probabilissimamente altrettanto perturbata per la stessa cagione. Una cometa ritrovata da questo astronomo ha un periodo che varia secondo i differenti calcoli da 55 a 99 anni; di certo essa ha un'orbita elittica. Quella scoperta a Napoli dal signor Peters, gira attorno al Sole in 16 anni; ma la cometa di Olbers del 1815 deve vagare per lo spazio approssimativamente alla distanza stessa di quella di Halley, poichè il suo periodo è di 74 anni. Le due scoperte da Brorsen hanno periodi, l'una di 500 e l'altra di 28 anni; ma vi ha su quest' ultima qualche incertezza.

La cometa che compariva nel 1596 e nel 1845 ha un periodo di 249 anni; e se il calcolo di Argelander è esatto, l'orbita che sino a qui è stata assegnata alla grande cometa del 1811, deve essere erronea, poichè egli ha assicurato essere il suo periodo di 3,066 anni.

La gran cometa del 1264, che avea una coda dell' estensione di oltre 100° della volta celeste, fu osservata e ricordata dai Chinesi, e fu accertato essere la stessa che comparve nel 1556, e de' cui moti furono fatte osservazioni in Vienna al tempo dell' imperatore Carlo V; ma allora era meno brillante. In conseguenza della scoperte delle osservazioni originali della cometa del 1556 fatte da Fabricio a Vienna e da Heller a Nurimberga, il signor Hind fu indotto a calcolare la sua orbita per quell'anno; ma dopo molta fatica, aiutato da tutti i metodi perfezionati del calcolo, egli trovava le osservazioni di Heller così cònfuse ed anche erronee, che non poteva determinare la curva descritta dalla cometa in quel tempo con qualche precisione, e per questo poteva solo predire che l'epoca del suo ritorno sarebbe presso a poco tra il 1848 e il 1861. Prima che le comete arrivino al sole, di rado esse sono visibili;

ma se dopo passato il loro perielio esse vengono vicine alla terra, allora hanno code, e diventono brillanti in conseguenza dell' azione solare sopra la materia di cui sono formate. Ora se le cometa in discorso passasse al suo perielio tra i mesi di marzo e ottobre, è probabile possa essere visibile come sempre; ma se essa s' accostasse vicinissima al sole nell' inverno, è tale la posizione della sua orbita rispetto alla terra, che potrebbe passare senza essere veduta, il che è poco probabile facendosi ricerca di lei in quasi tutti gli Osservatorii di Europa e degli Stati Uniti. Approssimativamente l' intera sua orbita giace sotto il piano dell' eclittica, e lungi dalle orbite dei pianeti maggiori, ma si estende in uno spazio maggiore di due volte la distanza di Nettuno, o circa sei mila milioni di miglia dal sole.

Le comete nel loro perielio, o vicino ad esso, si muovono con grandissima velocità. Quella del 1680 comparisce aver fatto mezzo il giro del sole in 10 ore e $\frac{1}{2}$, muovendosi in ragione di 880,000 miglia all'ora. Se la sua enorme forza centrifuga fosse cessata passando il perielio, sarebbe caduta al sole in circa tre minuti; siccome quella ch'era allora meno che 147,000 miglia lontano dalla superficie solare. Così vicina al sole, sarebbe stata esposta ad un calore 27,500 volte maggiore che quello ricevuto dalla terra; e siccome il calore solare si suppone essere in proporzione all' intensità della sua luce, è probabile che un grado di calore così intenso sarebbe sufficiente a convertire in vapore ogni sostanza terrestre che si conosca. Alla distanza del perielio, il diametro del sole sarebbe veduto dalla cometa sotto un angolo di 73°, così che il sole veduto dalla cometa coprirebbe quasi l' intiera estensione dei cieli dall' orizzonte allo zenit. Siccome si presume che questa cometa abbia un periodo di 575 anni, l'asse maggiore della sua orbita deve essere così grande, che all' afelio il diametro solare sarebbe solo sotteso ad un angolo di circa 14 secondi, il che è tanto grande

quanto la metà di ciò che comparisce a noi il diametro di Marte, quando è in opposizione. Il sole per conseguenza non impartirebbe nessun calore; così che la cometa verrebbe allora esposta alla temperatura delle regioni eteree, la quale è di 239° sotto lo zero di Fahrenheit. Un corpo di tale tenuità come la cometa, muovendosi con tale velocità, deve incontrare una grande resistenza nella densa atmosfera solare, mentre passa così da vicino alla superficie solare al suo perielio. La forza centrifuga deve per conseguenza essere stata diminuita, e l' attrazione del sole aumentata in proporzione; così che essa deve essere venuta più vicina al sole nel 1680 che nelle sue precedenti rivoluzioni, e deve avere descritto in appresso un' orbita più piccola. Siccome questa diminuzione dell' orbita sua sarà ripetuta ad ogni rivoluzione, la cometa finirà infallibilmente col cadere sulla superficie solare, a meno che il suo corso sia cangiato per la influenza perturbatrice di qualche gran corpo nell' ignota estensione del creato. La nostra ignoranza sulla reale densità della atmosfera solare, sulla densità della cometa e sul periodo della sua rivoluzione, rende impossibile il formarci un' idea del numero dei secoli che devono scorrere prima che succeda un tale avvenimento.

La stessa causa può modificare i moti planetari ed in ultimo essere il mezzo di distruzione del sistema solare. Se non che, come J. Herschel osserva, i pianeti non potrebbero rivolgersi tutti nella stessa direzione attorno il sole per tanti secoli senza imprimere un moto corrispondente sul medio etereo che possa preservarli dagli accumulati effetti della sua resistenza. Se questo mezzo materiale si rivolgesse attorno al sole come un vortice, esso accelererebbe le rivoluzioni di quelle comete che hanno un moto diretto, e ritarderebbe quelle di moto retrogrado.

La cometa che apparve inaspettatamente nel principio del 1843 era una delle più splendide che avessero mai

visitato il sistema solare. Era nella costellazione di Antinoo, alla fine di gennaio, ad una distanza 115 milioni di miglia dalla terra, e passava pel suo perielio il 27 febbraio quando era perduta nei raggi solari; ma cominciò a essere visibile circa il 3 marzo, nel qual tempo era vicina alla stella *Iota Cetae* e la sua coda si stendeva verso la Lepre. Prima del passaggio al suo perielio non aveva coda, ma a quell' epoca la coda dardeggiò fuori d'improvviso e si estese ad una distanza di 1826 milioni di miglia in un' ora e mezzo in circa; celerità la più inesplicabile di svolgimento, che indica qualche potente forza ripulsiva al momento della massima vicinanza al sole, nel qual tempo le code sono formate. Lo splendore della cometa e la lunghezza della coda continuò a crescere sino a che si disperse al di là della costellazione della Lepre verso un punto vicino a Sirio. Le stelle si vedevano distintamente a traverso di lei, e quando fu vicina al perielio, la cometa era così splendida, che fu veduta alla luce chiara del sole agli Stati Uniti come una nube bianca. Il movimento era retrogrado, ed abbandonando il sistema solare, essa si ritirò tanto rapidamente insieme dal sole e dalla terra, che fu presto perduta di vista per mancanza di luce. Al primo d' aprile essa era tra il sole e la terra, solo 40 milioni di miglia dall' ultima; e siccome la coda era lunga almeno 60 milioni di miglia e larga 20, noi probabilmente vi passammo in mezzo senza che ce ne accorgessimo. Vi è qualche discrepanza nei differenti calcoli degli elementi dell'orbita, ma nel numero maggiore dei casi la distanza del perielio fu ritrovata esser meno che il semidiametro del sole; così che la cometa deve essere stata rasente la solare superficie, se realmente non l'urtò obbliquamente.

La distanza del perielio di questa cometa differisce poco da quella della grande cometa del 1668, la quale venne così vicina al sole. Il moto di ambedue era retro-

grado, ed una certa somiglianza nelle due orbite rende probabile che sieno lo stesso corpo che compie una rivoluzione in 175 anni.

Sebbene siamo oggi ben informati dei moti delle comete, noi non conosciamo punto la fisica costituzione di esse. Un grande numero, specialmente delle telescopiche, sono solo quali nubi o masse di vapore, spesso senza code. Il nucleo consiste comunemente di una massa concentrata di luce come un pianeta, circondato da una trasparentissima atmosfera, e il tutto visto con un telescopio è così trasparente, che la stella più piccola può ancora essere veduta a traverso la parte la più densa del nucleo: in generale le loro parti solide, se ne hanno, sono così minute da non avere un diametro sensibile, come quelle della cometa del 1811, che compariva a W. Herschel come un punto luminoso nel mezzo della materia nebulosa. I nuclei che sembrano essere formati degli strati più densi di quella materia nebulosa in strati successivi, sono qualche volta di molta grandezza. Quelle comete che vennero al sole nel 1799 e 1807 avevano dei nuclei i cui diametri misuravano 180 e 275 leghe rispettivamente, e la seconda cometa del 1811 aveva un nucleo di 1,350 leghe di diametro.

Devesi nondimeno avere per stabilito che, come le comete sono generalmente a prodigiose distanze dalla terra, le parti solide dei nuclei compariscono come semplici punti di luce così minuti, che è impossibile misurarli con qualche accuratezza; così che i migliori astronomi spesso differiscono nel calcolo della loro grandezza, per una metà dell'intiero diametro. Il passaggio d'una cometa di faccia al sole somministrerebbe la migliore informazione rispetto la natura dei nuclei. Fu calcolato che un tale evento succederebbe nel 1827; sfortunatamente il sole fu coperto di nubi per gli astronomi inglesi, ma fu esaminato a Viviers e a Marsiglia nel tempo che la cometa doveva essere proiettata sul disco solare, ma

nessuna macchina o nube vi fu vista, così che la cometa non deve avere avuto nessuna parte solida. I nuclei di molte comete che sembrano solidi e brillanti ad occhio nudo, sono stati risoluti in puro vapore dai telescopi di grande forza: nella cometa d'Halley non vi è parte solida affatto.

La nebulosità immediatamente attorno al nucleo è così trasparente, che dà poca luce, ma a piccola distanza la materia nebulosa diventa d'improvviso lucida, in modo da comparire come un anello splendente attorno a un corpo. Qualche volta vi sono due o tre di questi anelli luminosi concentrici separati da intervalli oscuri, ma essi sono generalmente incompleti nella parte vicina alla coda.

Queste annulari apparenze sono un effetto ottico che deriva da una successione d'inviluppi della materia nebulosa con intervalli fra di loro, dei quali il primo è qualche volta in contatto col nucleo, qualche volta no. La grossezza di questi strati brillanti diafani nelle comete del 1799 e del 1807, erano di circa 7,000 e 10,000 leghe rispettivamente; e nella prima cometa del 1811 l'anello luminoso era grosso 8,000 leghe, e la distanza tra la sua superficie interna e il centro della testa era di leghe 10,000. L'ultima cometa fu molto più brillante di quelle vedute ai tempi moderni: fu scoperta da prima in Inghilterra da James Vietch d'Inchbonny, e fu osservata in tutti i suoi cangiamenti da W. Herschel e da Olbers. Ad occhio nudo la testa aveva l'apparenza d'una massa rotonda mal definita di luce, ch'era decomposta in parecchie parti distinte quando era veduta con un telescopio. Una massa brillantissima circolare interna di materia nebulosa era circondata da uno spazio nero che aveva una forma parabolica, distintissima dal bleu scuro del firmamento. Questo spazio oscuro era d'una larghezza apprezzabilissima. Esternamente all'intervallo nero vi era un contorno parabolico luminoso di considerevole

grossezza, che era prolungato da ogni lato in due rami divergenti che formavano la coda doppia della cometa. W. Herschel trovava che la massa circolare interna brillante perdeva la distinzione del suo delineamento quando si accresceva l'ingrandimento del telescopio, e presentava l'apparenza d'una massa sempre più diffusa di luce verdiccia o verde–turchiniccia, la cui intensità decresceva a gradi, non dal centro ma da una macchia eccentrica lucida, supposta essere la parte veramente solida della cometa. L'involucro luminoso era d'un giallo deciso che fortemente contrastava con la tinta verdiccia della massa interna nebulosa. Le stelle erano quasi velate dall'inviluppo luminoso, mentre al contrario W. Herschel vedeva tre piccolissime stelle splendere chiaramente nello spazio nero, che in singolar modo era trasparente. Siccome gl'invogli venivano formati successivamente, a mano a mano che la cometa s'accostava al sole, Herschel imaginò che fossero vapori innalzati dal calore solare sulla superficie del nucleo, e sospesigli attorno come una volta o cupola per la forza elastica di un'atmosfera estesa e moltissimo trasparente. Accostandosi al sole, gl'invogli cominciavano a formarsi quando la cometa era tanto distante quanto l'orbita di Giove, e nel suo ritorno essi erano presto dissipati interamente; ma un novello se ne formava dopo che erasi ritirata alla lontananza di Marte, il quale durava per pochi giorni. Infatti le comete in generale sono soggette ad improvvise e violente convulsioni nel loro interno, anche quando sono lontane dal sole, le quali producono cangiamenti che sono visibili ad enormi distanze e confondono ogni tentativo di spiegazione, probabilmente derivando dall'elettricità od anche da cause che non conosciamo. Gli involucri che circondano il nucleo della cometa sul lato vicino al sole, divergono sull'opposto lato, dove sono prolungati nella forma di un cono vuoto, che costituisce la coda. Due forze ripulsive sembrano aver parte nella produzione di questo ef-

fetto: una che viene dalla cometa, e l'altra dal sole, essendo questa la più potente. Gl'involucri sono più vicini al centro della cometa sul lato vicino al sole, dove queste forze si oppongono vicendevolmente, ma sull'altro lato le forze cospirano a formare la coda, trasportando le particelle nebulose ad enormi distanze.

Gli orli laterali della coda riflettono più luce che la parte centrale, essendo che la linea di visione passa per una maggiore profondità della materia nebulosa: il che produce l'effetto di due correnti alquanto simile all'aurora boreale. Le stelle risplendono con un non diminuito splendore a traverso la parte centrale della coda, a motivo che i loro raggi l'attraversano perpendicolarmente alla sua grossezza, ma sebbene distintamente sieno vedute attraverso gli orli suoi, la luce loro è indebolita per la trasmissione obliqua. La coda della gran cometa del 1811 era di maravigliosa sottigliezza; le stelle che sarebbero state interamente occultate dalla nebbia più sottile, erano vedute a traverso 64,000 leghe di materia nebulosa, senza la più piccola rifrazione. Probabilmente gran parte dei cangiamenti nell'apparenza delle code dipende dalla rotazione. Sono state osservate parecchie comete rotare attorno ad un asse che passava pel centro della coda. Quella del 1825 compiva la sua rotazione in 20 ore e $\frac{1}{2}$, e le rapide mutazioni nei settori luminosi che uscivano dal nucleo della cometa di Halley, probabilissimamente erano dovuti alla rotazione.

Le due correnti di luce che formano gli orli della coda, in moltissimi casi si uniscono a maggiore o minore distanza dal nucleo e sono generalmente situate nel piano dell'orbita. Le code seguono le comete nella discesa verso il sole, ma le precedono nel ritorno con un piccolo grado di curvatura: la loro apparente estensione e forma variano secondo le posizioni delle orbite rispetto all'eclittica. In alcuni casi la coda è stata

ad angoli retti colla linea che unisce il sole e la cometa: la curvatura è in parte dovuta alla resistenza dell'etere e in parte alla velocità della cometa, essendo maggiore di quella delle particelle dell' estremità della coda che resta di dietro. Le code sono generalmente di lunghezze enormi: la cometa del 1811 n'aveva una non meno lunga d'un cento milioni di miglia, e quelle che apparvero negli anni 1618, 1680, 1769 avevano code che si estendevano rispettivamente sopra 104, 90 e 97 gradi di spazio. Per conseguenza, quando le teste di queste comete erano tramontate, una porzione dell' estremità delle loro code era ancora allo zenit. Qualche volta la coda è divisa in parecchi rami, come quella della cometa del 1744 che n'aveva sei separati da oscuri intervalli, ognuno dei quali largo 4° e lungo da 30° a 44°. Erano probabilmente formati da tre coni vuoti di materia nebulosa procedenti dai differenti invogli, e includentisi l' un dentro l'altro con intervalli fra loro: gli orli laterali di questi coni darebbero l' apparenza di sei correnti di luce. Le code non arrivano alla loro piena grandezza fino a che la cometa non abbia abbandonato il sole. Quando da prima le comete compariscono, rassembrano pellicole tonde di vapore con poca o nessuna coda. Come s'accostano al sole, esse crescono in splendore, e la loro coda in lunghezza, sino a che si siano perdute nei raggi solari; e sino a che non emergono dalla luce più viva del sole, le comete non assumono il loro pieno splendore. Gradatamente allora decrescono, le code diminuiscono e scompariscono presso a poco o affatto, prima che siano al di là della sfera della visione telescopica. Molte comete non hanno coda, per esempio la cometa di Encke. Le comete che comparvero nel 1585, nel 1763 e nel 1682 erano pure senza coda, sebbene l'ultima si ricorda essere stata così lucida come Giove. La materia della coda deve essere estremamente leggera per precedere un corpo che si muove con tale velocità: infatti la rapidità della

sua ascensione non può essere calcolata. È stata attribuita a quel potere del sole, il quale produce le vibrazioni che costituiscono la luce, ma siccome questa teoria non vale per la cometa del 1824, che si dice avere avute due code, una diretta verso il sole ed una brevissima diametralmente opposta, bisogna confessare la nostra ignoranza su questo soggetto. In questo ultimo caso il potere repellente della cometa sembra essere stato maggiore che quello del sole. Qualunque possa essere questo ignoto potere, vi sono esempi nei quali i suoi effetti sono enormi: perocchè immediatamente dopo che la grande cometa del 1680 ebbe passato il perielio, la sua coda aveva 100,000,000 di miglia in lunghezza ed era proiettata dalla testa della cometa nel corto spazio di due giorni. Un corpo di così estrema sottigliezza è verosimilissimamente incapace di attrazione forte abbastanza da richiamare la materia spinta così da lontano: per questo probabilmente è dispersa nello spazio o assorbita dalla luce o nebulosa zodiacale che circonda il sole: il che può dar ragione del rapido decrescimento osservato nelle code delle comete ogni volta che ritornano al loro perielio. Se si provasse che la grande cometa del 1843 sia la stessa di quella del 1668, la coda deve essersi diminuita notabilmente.

È rimarchevole che sebbene le code delle comete crescano in lunghezza come esse s' accostano al perielio, vi è ragione di credere che il diametro reale della testa contraggasi accostandosi al sole, e si espanda rapidamente, abbandonandolo. Hevelius pel primo osservò questo fenomeno, che la cometa di Encke ha presentato in un grado straordinario. Il 28 ottobre 1828 questa cometa era circa tre volte così lontana dal sole, di quello che lo era il 24 dicembre; nondimeno alla prima data il diametro apparente era 25 volte maggiore che alla seconda, essendo progressivo il decremento. Valz attribuisce questa circostanza ad una reale condensazione di volume

per la pressione del mezzo etereo che cresce rapidissimamente in densità verso la superficie del sole e forma un'atmosfera estesa attorno ad esso. Non venne in mente a Valz per altro che il fluido etereo penetrasse la materia nebulosa piuttosto che comprimerla. J. Herschel al contrario congettura che questo si possa ripetere dall'alternativa conversione di materiali evaporabili nelle regioni superiori dell'atmosfera trasparente delle comete in istato di visibile nube e di gas invisibile per gli effetti del calore e del freddo; oppure che alcuni degli invogli esterni nebulosi possono essere veduti, quando la cometa arriva ad una parte più oscura del firmamento, i quali sarebbero superati dalla luce del sole, quando la cometa è nella vicinanza di esso. Egli considera la prima di quest'ipotesi essere perfettamente confermata dalle sue osservazioni sulla cometa di Halley fatte al Capo di Buona Speranza, dopo il ritorno della cometa al sole. Egli pensa che probabilissimamente tutta la cometa, eccettuata la parte più densa della sua testa, svaniva, ed era ridotta ad uno stato trasparente ed invisibile durante il passaggio al suo perielio: perocchè, quando essa divenne da prima visibile dopo avere lasciato il sole, non aveva coda, e l'aspetto era cangiato completamente. Tosto un invoglio parabolico cominciava a comparire e crescere tanto e così rapidamente, che il suo aumento era visibile all'occhio. Quest'aumento continuava sino a che l'involucro divenne così grande e leggiero, che all'ultimo svanì affatto, lasciando solo il nucleo ed una coda, che aveva acquistato di nuovo, ma che ancora svanì, così che in fine il nucleo solo rimaneva.

Non solo le code ma la parte nebulosa delle comete diminuisce ogni volta ch'esse ritornano al perielio; dopo frequenti ritorni le devono perdere del tutto e presentare l'apparenza d'un nucleo fisso: questa cosa deve accadere più presto alle comete a brevi periodi. La Place soppone che la cometa del 1682 deve accostarsi

rapidamente a questo stato. Se le sostanze fossero affatto od anche ad un alto grado evaporate, la cometa scomparirebbe per sempre. Probabilmente alcune comete possono essere scomparse dalla nostra vista più presto di quello che per altra guisa avrebbero fatto, per questa causa.

La cometa scoperta a Firenze dal prof. Donati il 2 giugno 1858 fu una delle più belle che sia stata veduta dal nostro pianeta da molti anni, sì par la lucentezza del nucleo, che per la lunghezza e la forma graziosa della chioma: allorchè fu scoperta era vicino la stella λ della costellazione del Leone, essendo alla distanza di 288,000,000 di miglia dalla terra; durante il mese d'agosto il suo nucleo prendeva quasi un aspetto di pianeta per la concentrazione della sua luce; al 27 settembre, la testa appariva quasi splendida come Mercurio, ma più piccola; vicino al perielio, ai 30 settembre il suo diametro, come ce lo assicura il Donati, era di 3″; durante la prima parte d'ottobre essa continuò a crescere in lucentezza, divenendo la coda più allungata e descrivendo un bell'arco in cielo che occupava uno spazio quasi di 40°, ossia una lunghezza di 40,000;000 di miglia nel sistema solare. La sera del 5 ottobre fu veduta dalla maggior parte della Brettagna dentro 20′ d'Arturo, la stella più brillante dei cieli nordici, attraverso la quale passava la parte più densa della coda, e ciò nonostante la stella compariva colla sua lucentezza intatta. Ai 30 ottobre, quando era nel perielio, la cometa era solo 55,000,000 di miglia lungi dal sole; ai 10 s' accostava di più alla terra, dalla quale era lontana 51,000,000 di miglia; ai 15 del mese istesso era vicina a Venere, essendo in quel tempo meno che a un decimo della distanza della terra dal sole; se la cometa avesse raggiunto il suo perielio pochi giorni più presto, Venere poteva passare traverso il suo nucleo, e quali conseguenze avrebbero potuto accadere al pianeta sarebbe difficilissimo immaginare. Il moto della cometa del Donati è quello che gli astronomi chiama-

no *retrogrado*, o dall'oriente all'occidente. Essa cessava di essere visibile nelle nostre latitudini nordiche, nell' ultima settimana di ottobre, essendo passata nel cielo australe, dov' essa traverserà le costellazioni del Sagittario, del Telescopio ed Indo, accostandosi alla grande stella di Tucan; dopo di che essa disparirà sino a che abbia approssimativamente compiuta la sua rivoluzione attorno il sole. L'orbita osservata di questa notevole cometa, coincide più approssimativamente con una ellisse che con una parabola ; il diametro più lungo dell' ellisse essendo 184 volte quello dell' orbita della terra, o l' immensa distanza di 35,100,000,000 di miglia: il quale spazio, sebbene grande, è minore, di una millesima parte della distanza della stella fissa più vicina. Secondo i calcoli di Loewy, e adottando un' orbita ellittica, la cometa di Donati non ritornerà al luogo istesso nel cielo per 2,495 anni, essendo di 500 anni minore del periodo di rivoluzione della gran cometa del 1811.

Il prof. Donati osservò che, tra il 25 e il 30 settembre, due invogli concentrici luminosi semicircolari con uno spazio oscuro tra loro eransi formati nella testa. Dall'estremità di questi il cono della coda estendevasi, ed uno spazio oscuro o non luminoso si estendeva per 20° dal nucleo alla coda. Il 1 ottobre i due invogli erano combinati in uno. Questa cometa come quella di Halley ha mostrato alcune singolari irregolarità, che si suppone derivino dall' azione del sole, quando è vicina al suo perielio. A differenti periodi della sua apparizione fu osservata una violenta agitazione nel suo nucleo con luminosi getti e baleni spirali ecc. come nelle grandi comete del 1680, del 1744, e del 1811. Un raggio di luce uscì fuori da un lato del nucleo verso il sole, mentre un getto gassoso appariva dall' altro lato, che sembrò formare l' origine d' una seconda coda dentro la grande coda, e che fu tracciata per un mezzo grado da Hind il 19 settembre. Egli osservò delle precise convoluzioni spirali nella coda, il che dimostra che questa

cometa ha un moto di rotazione attorno ad un asse che passa per la coda.

Se le comete risplendono per luce comunicata, devono in certe posizioni presentare le fasi come la luna; ma nessuna simile apparenza è stata scoperta, eccetto in un caso, quando si disse esser le fasi state vedute da Hevelius e da La Hire nel 1682. In generale la luce delle comete è smorta: quella della cometa del 1811 era solo eguale alla 10ma parte della luce della luna piena. Non di meno alcune sono state splendenti abbastanza per essere vedute in pieno giorno, specialmente la cometa del 1744 che fu veduta senza telescopio ad un' ora dopo mezzodì, mentre il sole splendeva. Quindi si può inferire che, sebbene alcune comete possano essere affatto diafane, altre sembrano possedere una massa solida simile ad un pianeta. Ma se risplendano di luce propria o di riflessa, non è stato sino ad ora dimostrato con certezza. Anche se la luce d'una cometa fosse polarizzata, questo non sarebbe una prova decisiva, perchè un corpo è capace di riflettere la luce, sebbene esso risplenda di luce sua propria. Arago peraltro ha con grande ingegno scoperto un metodo di accertare questo punto, indipendentemente dalle fasi e dalla polarizzazione.

Poichè i raggi di luce divergono da un punto luminoso, essi saranno dispersi sopra uno spazio maggiore quanto più cresce la distanza, così che l' intensità della luce sopra un diaframma lontano due piedi dall' oggetto, è 4 volte minore che alla distanza d' un piede; tre piedi dall' oggetto, la luce è nove volte minore, e così via via: l' intensità della luce decresce come i quadrati delle distanze crescono. Siccome una superficie luminosa per sè stessa consiste d' un numero infinito di punti luminosi, egli è chiaro che quanto maggiore è l' estensione della superficie tanto più intensa sarà la luce: quindi si può concludere che il potere luminoso di una tale superficie è proporzionale alla sua estensione, e decresce in ragione

inversa dai quadrati delle distanze. Con tutto ciò, una superficie luminosa di per sè, piana o curva, veduta attraverso un buco di una lastra di metallo, è dello stesso splendore ad ogni possibile distanza, sino a tanto che vi sia sotteso un angolo sensibile, essendo che, come cresce la distanza, una maggiore porzione ne viene alla vista; e siccome l'aumento della superficie è proporzionale al quadrato del diametro della parte veduta a traverso il buco, essa cresce come il quadrato della distanza. Quindi sebbene il numero dei raggi che vengono da un punto della superficie che passa pel buco decresca in ragione inversa dei quadrati delle distanze, pure, a motivo che l'estensione della superficie che viene in vista cresce anche in questa ragione, lo splendore dell'oggetto è lo stesso all'occhio finchè abbia un diametro sensibile. Per esempio, Urano è circa 19 volte più lontano dal sole che lo siamo noi, così che il sole veduto da quel pianeta deve comparire come una stella con un diametro d'un cento secondi, e deve avere per gli abitanti lo stesso splendore che avrebbe per noi se fosse veduto traverso un piccolo foro circolare che abbia un diametro di cento secondi. Perocchè è cosa ovvia che la luce viene da ogni punto della superficie del sole ad Urano, mentre una piccolissima porzione del suo disco è visibile a traverso il foro, cosicchè l'estensione della superficie esattamente compensa la distanza. Poichè adunque la visibilità d'un oggetto luminoso di per sè stesso, non dipende dall'angolo sotteso sin che sia di sensibile grandezza, se una cometa risplende di luce propria, essa riterrà la sua lucentezza sino a che il suo diametro è di una grandezza sensibile; ed anche dopo che ha perduto un diametro apparente, dovrebbe essere visibile, come le stelle fisse, e svanire solo in conseguenza dell'estrema lontananza. Questo nondimeno è ben lungi dall'essere il caso: poichè le comete diventano a gradi oscure come cresce la loro distanza,

e svaniscono solamente per mancanza di luce, mentre esse ritengono un diametro sensibile; il che è provato dalle osservazioni fatte la sera prima della loro scomparsa. Si può per questo concludere che le comete risplendono di luce riflessa solare. Le più splendide comete hanno sino ad oggi cessato di essere visibili quando sono circa 5 volte così lontane dal sole, come lo siamo noi. La maggior parte delle comete che sono state visibili dalla terra, hanno i loro perieli dentro l'orbita di Marte, perchè sono invisibili quando sono alla distanza dell'orbita di Saturno: per questa ragione non vi è memoria di alcuna, il cui perielio sia situato al di là dell'orbita di Giove. Infatti la cometa del 1756 dopo l'ultima sua comparsa restava 9 anni interi dentro l'ellisse descritta da Saturno senza essere veduta una volta sola.

Più di 140 comete sono comparse entro l'orbita della terra durante l'ultimo secolo, le quali non sono ricomparse ancora. Se mille anni si dessero come periodo medio di ciascuna, si può calcolare secondo la teoria delle probabilità, che l'intero numero che gira dentro l'orbita della terra deve essere di 1,400: ma essendo Urano circa 19 volte più distante, non vi possono essere meno che 11,200,000 comete che vengono nell'orbita di Urano. Arago fa un calcolo differente: egli considera che siccome trenta comete sono conosciute avere la loro distanza perielia dentro l'orbita di Mercurio, se si ritiene che le comete siano uniformemente distribuite nello spazio, il numero di quelle che hanno il perielio nell'orbita di Urano deve essere a 30 come il cubo del raggio dell'orbita di Urano al cubo del raggio dell'orbita di Mercurio; il che fa che il numero delle comete ascenda a 3,529,470. Ma questo numero può essere raddoppiato, se si consideri che in conseguenza della luce del giorno, delle nebbie e della grande declinazione meridionale, una fra due comete deve essere occultata a noi. Secondo Arago, più di 7 milioni di comete si ritrovano dentro l'orbita di Urano.

I gradi differenti di velocità co' quali i pianeti e le comete furono in origine spinte nello spazio, è l' unica causa della diversità nella forma delle loro orbite, il che dipende solo dalla mutua relazione tra la forza proiettile e l' attrazione solare.

Quando le due forze sono esattamente eguali l' una all'altra, vien prodotto un movimento circolare: quando la ragione della forza proiettile alla forza centrale è esattamente quella di 1 alla radice quadrata di 2, il movimento è parabolico; qualunque ragione tra queste due, sarà causa che un corpo si muova in un' ellisse, e qualunque ragione maggiore che quella di 1 alla radice quadrata di 2, produrrà il movimento iperbolico (N. 229).

I corpi celesti si possono muovere in ciascuna di queste quattro curve per la legge di gravitazione: ma siccome è necessaria una velocità particolare per produrre il moto o circolare o parabolico, simili avvenimenti non possono essere supposti esistere nel sistema solare, dove i corpi sono soggetti a tali mutue perturbazioni che infallibilmente cangerebbero la ragione delle forze, e li farebbero muovere in ellissi nel primo caso ed in iperbole nel secondo. Al contrario, poichè ogni ragione tra l' eguaglianza e quella dell' 1 alla radice quadrata di 2 produrrà movimento ellitico, questo si è ritrovato nel sistema solare in tutte le varietà, da quello approssimativamente circolare a quello che confina col parabolico di eccessiva ellitticità. Da questo dipende la stabilità del sistema: le mutue perturbazioni soltanto fanno dile orbite più o meno eccentriche, senza mutare la loro natura.

Per la ragione stessa i corpi del sistema solare possono essersi mossi in una varietà infinita d' iperbole, poichè ogni ragione delle forze, maggiore che quella che produce il moto parabolico, farà muovere il corpo in una di dette curve: il moto iperbolico nondimeno è rarissimo; solo due comete compariscono muoversi in orbite di questa

natura; quelle del 1771 e del 1824: probabilmente tutte le comete simili sono già venute ai loro perielii, e per conseguenza non ritorneranno mai più.

Così la ragione delle forze che determina la natura delle orbite celesti è facilmente spiegata; ma le circostanze che determinarono queste ragioni, per le quali alcuni corpi si muovono quasi in cerchi, altri errano verso i limiti della solare attrazione, e tutti i corpi celesti rotano e si rivolgono nella stessa direzione, devono avere avuto la loro origine nello stato primitivo delle cose; ma siccome è piaciuto alla Suprema Intelligenza d'impiegare solo la gravitazione nella conservazione di questo bel sistema, si può presumere che la stessa pure abbia presieduto alla sua creazione.

SEZIONE XXXVI.

Stelle fisse — Loro numero — Via lattea — Stelle doppie — Sistemi binarii — Loro orbite — Tempi periodici — Colori delle stelle — Stelle scomparse — Stelle variabili — Variazione nella luce solare — Parallasse e distanza delle stelle fisse — Masse delle stelle — Luce comparativa delle stelle — Movimenti propri delle stelle — Movimenti apparenti delle stelle — Movimento e velocità del sole e del sistema solare — Nebulose — Loro numero — Loro catalogo — Sono di due classi — Nebulose diffuse — Nebulose definitivamente formate — Gruppi globulari di stelle — Splendore della via lattea — Distribuzione delle nebulose — Nubi magellaniche — Nebulose attorno η di Argo — Costituzione delle nebulose e forze che le mantengono — Meteoroliti — Stelle cadenti.

Per grande che apparisca essere il numero delle comete, è assolutamente piccolo in paragone della moltitudine delle stelle fisse. Circa 2,000 solamente sono visibili ad occhio nudo, ma quando il cielo è perlustrato con un telescopio, il loro numero sembra essere limitato soltanto dall'imperfezione dell'istrumento. Il numero delle registrate ammonta a 200,000; le loro posizioni sono de-

terminate con grande precisione, ed esse sono enumerate in cataloghi non solo all' oggetto di accertare le posizioni geografiche per le occultazioni delle più brillanti tra loro, ma ancora più per servire come punti di ritrovo per notare le posizioni delle comete e per altri fenomeni celesti.

Sirio, l' α del Centauro ed Arturo sono le stelle più brillanti del cielo; le altre sono classificate secondo il loro apparente splendore, dalla prima alla diciassettesima grandezza. La Capella, l' α della Lira, Procione e 20 o 21 più, sono di prima grandezza; α di Perseo, γ di Orione, α del Cygno ed in tutto 50 o 60, sono di seconda; e della terza ve ne sono circa 200 come η di Boote ed η del Dragone, crescendo il numero in ragione della diminuita grandezza. Quelle di ottava grandezza sono appena visibili ad occhio nudo, e abbisogna un buonissimo telescopio per vedere le stelle di diciassettesima grandezza. Questa serie è perfettamente arbitraria, ma J. Herschel ha accertata per mezzo di reale misura lo splendore comparativo di molte. Per esempio, egli ritrovò che la luce d' una stella di sesta grandezza è cento volte minore di quella d' una di prima grandezza, e che Sirio formerebbe da 300 e 400 di queste piccole stelle. Se la scala fotometrica fosse completa, ciò sarebbe di grande importanza rispetto alle stelle variabili.

Le tre o quattro classi di stelle più brillanti sono disperse bellamente ed equabilmente sul firmamento, ad eccezione d' una zona o fascia che segna il corso del gran cerchio che passa per ε di Orione ed α della Croce dove sono numerosissime, specialmente nell' emisfero australe. Le stelle d' ogni grandezza visibili ad occhio nudo crescono in numero verso i confini della Via Lattea, che deve la sua lucentezza e il nome alla luce diffusa di miriadi di stelle: sono desse tanto numerose in alcune parti di essa che più di 50,000 passarono pel campo del telescopio di W. Herschel nel corso d' un' ora in una

zona larga solo 2°: in molti posti sono numerose al di là d'ogni calcolo, e la maggior parte sono piccolissime a motivo delle enormi distanze.

La Via Lattea, che forma una porzione così cospicua del firmamento, è uno strato vasto e quasi appianato, od un ammasso di stelle che incerchia i cieli in una larga fascia, fessa per una parte della sua circonferenza in due correnti di stelle, mostrando una grande rassomiglianza alla figura 5ª della tavola 5ª. Essa è contorta e interrotta in alcuni luoghi, e alle volte allungata in rami che si estendono molto nello spazio. La sua grossezza è piccola in paragone della lunghezza e larghezza: tuttavia in alcuni luoghi essa è impenetrabile anche ai migliori telescopi; in altri vi è ragione di credere sia possibile di vedere a traverso lei ed anche al di là del suo proprio piano. Vi è un graduale ma rapido aumento nell'affollarsi delle stelle su ciascun lato dello strato appianato verso il centro.

Il sistema solare è profondamente, sebbene eccentricamente, immerso in questa massa di stelle vicino a quel punto, dove lo strato circolare si fende in due correnti. La descrizione fatta da J. Herschel delle stelle dell'emisfero meridionale dimostra che la Via Lattea è uno de' suoi più magnifici spettacoli: « l'aspetto generale delle regioni circumpolari meridionali (inchiudendo in questa espressione 60° o 70° della distanza polare meridionale) è in alto grado ricco e magnifico, dovuto alla grande lucentezza e all'ampio sviluppo della Via Lattea, che, dalla costellazione di Orione a quella di Antinoo è uno sprazzo di luce stranamente interrotto con spazi vuoti e affatto privi di stelle, specialmente nello Scorpione vicino all'α del Centauro e alla Croce, mentre al nord si allontana pallida, oscura, ed al confronto appena tracciabile. Io credo impossibile vedere questa splendida zona con la meravigliosamente ricca, ed uniformemente popolata frangia di stelle di terza e quarta gran-

dezza che forma un largo confine al limite meridionale come una vasta tenda, senza ricevere un' impressione che quasi s' innalza alla convinzione, che la Via Lattea non sia un puro strato ma uno strato anulare, o almeno che il nostro sistema sia situato dentro una delle parti più povere o quasi vuote della sua massa generale ed eccentricamente, cosicchè si ritrovi molto più vicino alla regione attorno la Croce che a quella diametralmente opposta ad essa. »

Queste mancanze oscure, chiamate Sacchi di Carbone dagli antichi navigatori, tanto numerose tra l' α del Centauro ed α di Antaride, sono i fenomeni più straordinari dell' emisfero meridionale: esse sono di oscurità intensa, sebbene in nessuna maniera prive di stelle piccolissime telescopiche: l' oscurità deriva dal contrasto che questi spazi quasi vuoti formano coll' eccessivo splendore della parte circostante della Via Lattea, e dalla subitanea e violenta transizione dalla luce all' oscurità. Il più grande e cospicuo fra essi è un vuoto della figura d' una pera vicino alla Croce meridionale. Quella porzione della Via Lattea che è fessa longitudinalmente pel suo centro giace tra α del Centauro e la costellazione del Cigno: le due fascie sono unite qua e là da stretti ponti di stelle condensate che si estendono a traverso lo spazio più oscuro in mezzo a loro. Nello Scorpione e nel Sagittario, Herschel descrive la Via Lattea come composta di definite nubi di luce scorrente in gruppi di minutissime stelle simili all' arena non dispersa egualmente come da un setaccio, ma come se fossero state gittate giù a mani piene e con ambedue le mani in una volta lasciando degli oscuri intervalli. In questa meravigliosa profusione, le stelle sono d' ogni grandezza dalla 14^{ma} alla 20^{ma} e sino giù alle nebulose. Dopo un intervallo la profusione è rinnuovata, essendo le stelle inconcepibilmente minute e numerose al di là di ogni descrizione. Esse sono in milioni e milioni. Così vi è una grande irregolarità nella loro diffusione come nella

grandezza. In alcuni luoghi intensamente ammucchiate, in altre la profonda oscurità del firmamento, sopra la quale esse sono disperse radamente, fanno credere senza contrasto che in queste regioni il potere dei nostri telescopi penetri egregiamente nello strato stellare, e al di là di esso. Qualche volta noi vediamo una distesa di stelle quasi della stessa grandezza, di non grande spessezza paragonata colla loro distanza da noi, e non di rado vi è un doppio strato, uno sparso di grandi stelle sopra un altro di piccolissime.

La più meridionale delle due correnti di stelle che formano la Via Lattea in questa parte del firmamento, mantiene un corso continuo di estremo splendore che forma uno dei più mirabili gruppi di stelle del cielo. Uno attorno all' γ del Sagittario è un intenso aggregato di stelle in alcune parti del quale esse sono così agglomerate da renderne impossibile la numerazione. Secondo un calcolo moderatissimo, Herschel pensa che questo gruppo non possa contener meno di 100,000 stelle. Altri due gruppi tra le costellazioni dello Scudo e di Ofiulco sporgono fuori come promontorii d'intenso splendore nello spazio oscuro che separa le correnti stellari della Via Lattea.

La distanza delle stelle fisse è troppo grande per ammettere che presentino un disco sensibile, ma devono essere sferiche se la gravitazione domina tutto lo spazio, come vi è ogni ragione di credere. Con un potente telescopio le stelle compariscono come punti luminosi, le loro occultazioni dietro la luna sono per questo istantanee. Il loro tremolío deriva da subiti cangiamenti nel potere refrattivo dell' aria che non sarebbe sensibile se avessero dei dischi come i pianeti. Così nulla si può conoscere della loro distanza da noi o dall' una all' altra dietro i loro diametri apparenti. Sebbene dall' apparenza delle stelle non si possa in nessun modo dedurne la distanza, nondimeno tra le moltitudini del cielo, alcune

poche si sono ritrovate vicine abbastanza per offrire dei moti parallattici distinti, derivati dalla rivoluzione della terra nella sua orbita, dai quali si è calcolata la loro distanza dal sole: l'α del Centauro la stella più luminosa nell'emisfero australe, ne è un notevolissimo esempio. Henderson al Capo di Buona Speranza determinò essere la sua parallasse 1″ dietro una serie di osservazioni sulla sua posizione ad opposti periodi dell'anno, cioè fra opposti punti dell'orbita terrestre. Il risultato in appresso fu confermato da Maclear, che ritrovò l'ammontare essere di 0″913. La differenza tra questi due calcoli è maravigliosamente piccola, considerando le molte sorgenti inevitabili di errore nella determinazione di queste piccole quantità (N. 230).

Poichè nessuna stella nell'emisfero nordico ha una così grande parallasse, un arco di 1″ è preso siccome unità parallatica. Ora il raggio sta al seno di 1″ come 206,265 ad 1. Quindi l'α del Centauro è 206,265 volte più distante dal sole che il sole dalla terra. La luce percorrendo lo spazio in ragione di 192,000 miglia in un secondo deve mettere 3 anni e 83 giorni per venire a noi da quella stella.

Uno o due decimi d'un secondo è un grande errore quando il massimo ammontare della parallasse è solo 1″, e per questa ragione, dall'α del Centauro infuori, si è ritrovato impraticabile il determinare gli annui cangiamenti degli apparenti movimenti di ciascuna stella modificati dalla precessione, dalla nutazione, dalla aberrazione e dalle variazioni di temperatura degli strumenti usati nell'osservazione. Ciò non ostante, siccome due stelle in giusta-posizione sono egualmente modificate da tutto questo, la differenza dei loro moti è indipendente dalle dette modificazioni. Di due stelle apparentemente in stretta vicinanza una può essere al di dietro dell'altra nello spazio. Esse sembrano vicine l'una all'altra, se sono vedute dalla terra in una parte della sua orbita,

ma possono essere separate di molto se vengono vedute dalla terra in altra posizione appunto come due oggetti, terrestri compariscono esser un solo se sono veduti nella stessa linea retta, ma separati se l'osservatore cangia di posto. In questo caso le stelle non avrebbero un reale, ma solo un apparente movimento. Uno di essi parrebbe oscillare annualmente qua e là in una linea retta ad ogni lato dell'altra; movimento che non potrebbe essere confuso con quello d'un sistema binario in cui una stella descrive un'ellisse intorno un'altra; o se la curva dell'orbita fosse volta verso la terra, nella quale le oscillazioni richiedono degli anni per il loro compimento. Le sole circostanze che possono modificare disugualmente le stelle e che devono essere eliminate, sono il proprio moto delle stelle nello spazio, e la specifica aberrazione; piccolissima quantità derivante dalle particolarità della luce delle stelle. Questo metodo di ritrovare le distanze delle stelle fisse fu proposto da Galileo, e praticato da Long senza successo. W. Herschel dopo lo applicò ad alcuni dei gruppi binari, e sebbene ei non ritrovasse ciò che cercava, fu per mezzo di esso condotto alla scoperta dei moti orbitali delle stelle doppie.

Struve fu il primo che applicasse questo metodo, ed in un difficilissimo caso. Egli vide che una piccolissima stella è vicinissima ad α della Lira, e per una serie di misure differenziali le più accurate dal 1835 al 1838 trovò che l'α della Lira ha una parallasse di 0″. 261, la quale fu corroborata dalle osservazioni di Peters: quindi l'α della Lira è 789,600 volte più distante dal sole che la terra.

È naturale il supporre in generale che le grandi stelle sieno più vicine alla terra che le piccole, ma vi è ora ragione di credere che alcune stelle, sebbene per nulla rilucenti, sono più vicine a noi che altre le quali risplendono con maggior luce. Questo si è dedotto dalla velocità comparativa dei loro movimenti propri; tutte

le stelle hanno un movimento generale di traslazione, che tende in ultimo a mescolare quelle di differenti costellazioni, ma nessuna delle stelle che noi conosciamo si muove così rapidamente come la 61 del Cigno, e per questo essa è stimata esserci la più vicina d'ogni altra, perchè un oggetto sembra muoversi più rapidamente, quanto più esso è vicino. Ora Bessel vide che due piccolissime, e probabilmente lontanissime stelle erano vicinissime alla 61 del Cigno, le loro direzioni da quella stella essendo ad angoli retti l'una all'altra; così che durante la rivoluzione della terra, una di queste distanze era al massimo, e l'altra al minimo alternativamente ogni tre mesi. Quest'alternativa, sebbene indichi una parallasse o differenza di parallasse di solo 0″; 348, fu mantenuta con tale perfetta regolarità ogni tre mesi, che non lascia dubbio sulla sua esattezza, che in appresso fu confermata dalle osservazioni di Peters a Pulkova. Segue da questa piccola parallasse che la 61 del Cigno deve essere 592,700 volte più lontana dalla terra che dal sole: distanza che la luce non percorrerebbe in meno di 9 anni e tre mesi.

Henderson ritrovò che la parallasse di Sirio, la più lucente stella dei cieli, è solamente 0″·230; e per conseguenza più distante che la 61 del Cigno, sebbene quest'ultima non sia che di sesta grandezza.

Argelander ha calcolato che l'apparente grandezza delle stelle dipende dalla loro distanza Supponendo che tutte sieno della stessa grandezza, le più piccole visibili col telescopio riflettente di 20 piedi di W. Herschel, cioè quelle di diciassettesima grandezza sarebbero 228 volte più lontane che quelle di prima grandezza, e Peters di Pulkowa dall'annua parallasse di 35, sette delle quali sono ora accuratissimamente determinate, ha assicurato che la distanza della più vicina è tale che la luce che percorre lo spazio in ragione di 95 milioni di miglia in un secondo, metterebbe 15 anni e mezzo a

venire da esse alla terra; e che una stella di diciassettesima grandezza può estinguersi 3541 anni prima che noi ce ne possiamo accorgere (231).

I grandi abissi che separano le stelle dal sole e probabilmente l' una dall' altra stella, senza dubbio mantengono la stabilità del sistema stellare nel modo stesso che nel sistema solare le distanze dei pianeti dal sole e dei satelliti dai loro primari sono così disposte da conservare le loro mutue perturbazioni nei dovuti limiti. Le stelle supposte le più vicine al sole sono probabilmente in una grande zona che attraversa la Via Lattea tra l' η d'Argo e l' α della Croce. Essa comprende le splendide stelle delle costellazioni di Orione, del Cane maggiore, della Croce meridionale, del Centauro, del Lupo, e dello Scorpione. L'asse della zona è inclinato con un angolo di 20° sulla linea mediana o cerchio che passa pel centro della Via Lattea.

Grandissimo numero di stelle soffrono periodici cangiamenti di splendore, variando in alcuni casi dall'estinzione completa alla loro originale lucentezza, suggerendo l'idea che esse siano oscurate per un certo tempo, e qualche volta sieno completamente coperte da corpi opachi che fanno la loro rivoluzione intorno ad esse in tempi periodici e regolari come i pianeti intorno al sole.

La stella Mira, o ω di Ceti, che fu prima ad esser indicata periodica da Fabrizio nel 1596, appare circa 12 volte in undici anni, o nel periodo di 331 giorni, 8 ore, 4 minuti, 15″. Essa rimane nella sua massima lucentezza circa 15 giorni, essendo allora in molte occasioni eguale ad una grande stella di seconda grandezza, decresce circa per tre mesi sinchè diventa completamente invisibile ad occhio nudo, nel quale stato resta circa 3 mesi: dopo essa continua a crescere durante il resto del suo periodo. Questo è il corso generale de' suoi cangiamenti, ma non ritorna sempre allo stesso grado di lucentezza, nè cresce nè diminuisce per gli stessi gradi, nè gl' intervalli sono suc-

cessivamente eguali. Dalle osservazioni ed investigazioni di Argelander il periodo medio è soggetto a fluttuazioni, abbracciando 88 di questi periodi, ed avendo l' effetto di gradualmente allungare ed abbreviare alternativamente questi intervalli nell' estensione di 25 giorni in un modo o nell'altro. Le irregolarità nel grado di splendore arrivato al massimo, sono pure probabilmente periodiche. Poichè 4 anni prima del 1676 essa non si vide affatto, e il 5 ottobre 1839 eccedeva l' α di Ceti ed eguagliava la β dell' Auriga in splendore. Queste irregolarità possono derivare da perturbazioni periodiche tra i corpi opachi che si rivolgono attorno la stella. Algole o la β di Perseo è un altro notevolissimo esempio di stella variabile. Essa ha la grandezza d'una stella di seconda grandezza per due giorni e 13 ore e mezzo, e quindi improvvisamente comincia a diminuire in splendore sino a che in tre ore e mezzo si riduce alla grandezza d' una stella di quarta grandezza; allora comincia a crescere di nuovo, e in tre ore e mezzo riguadagna la sua lucentezza, passando per tutte queste vicissitudini in 2 giorni, 20 ore, 48 minuti e 54". John Herschel e Goodricke, dai quali la variabile natura di questa stella fu scoperta nel 1782, considerano questo essere un caso fortemente significativo della rivoluzione d' un corpo opaco che venendo tra noi ed Algole, impedisce una grande porzione di luce. Questa stella è stata costantemente osservata, e le più recenti osservazioni paragonate con le antiche indicarono una diminuzione nel tempo periodico. È provato ancora che questo decrescimento non è uniformemente progressivo, ma procede attualmente con rapidità accelerata, la quale però probabilmente non continuerà, ma per gradi si rallenterà o sarà allora cangiata in aumento e secondo le leggi di periodicità, che come le loro cause rimangono a scoprirsi. Il primo minimo di questa stella nel 1844 accadde il 3 gennaio a 4 ore, 14 minuti, tempo di Greenwich. L' γ dell' Hidra ancora sparisce e ricomparisce ogni 494 giorni.

La β della Lira fu scoperta esser variabile nel 1784 da Goodricke, ed il suo periodo fu accertato da Argelander essere di 12 giorni, 21 ore, 53 minuti, 10 secondi; nel qual tempo un doppio massimo e minimo ha luogo, i due massimi essendo quasi eguali, ma disuguali i due minimi; oltre questi semiperiodi vi è una debole aberrazione di periodo che pare periodico; dalla sua scoperta nel 1840, il suo tempo continuamente si allungava, ma più e più debolmente, sino a che nel 1840 cessò di crescere, ed è poi stato debole nella diminuizione.

Le stelle α di Cepheo ed η dell'Aquila, o Antinoe si scoprirono variabili nel 1784; i loro rispettivi periodi essendo 5 giorni, 8 ore, 47 minuti, 39 secondi, e 7 giorni, 4 ore, 13 minuti, 53 secondi, sono stati poscia accuratamente determinati. Oltre queste, le variazioni di circa 30 o 40 sono state approssimativamente accertate, e molte più tra le più piccole stelle furono scoperte essere variabili da Hind, il quale ha notato che molte di queste stelle che continuano ad essere visibili, al loro minimo appariscono nebbiose ed indistinte come se intervenisse un mezzo nuvoloso o nebuloso. Alcune delle stelle variabili sono rosse, ed altre presentano successivi cangiamenti tra il bleu, il giallo ed il rosso. Quando la lucentezza cresce, la stella è di una tinta turchiniccia. Quando ha passato il suo massimo splendore assume una tinta gialla, e sul suo decrescere diventa rossastra con lampi di splendida luce rossa. Questi cangiamenti sono notevolissimi in una piccola stella vicina alla stella 77 nell'estremità dell'ala sud della Vergine.

J. Herschel dopo avere descritto la bellezza del cielo stellato, dimanda « A qual fine supponiamo noi questi magnifici corpi sieno stati dispersi negli abissi dello spazio ? certo non per illuminare le *nostre* notti, le quali una luna aggiunta della millesima parte della nostra propria farebbe molto meglio, nè per scintillare come uno spettacolo privo di significato e di realtà, e traviarci

in vane congetture. Utili, è vero, sono essi all'uomo come punti di esatto e permanente rapporto, ma un meschino proposito avrebbe studiato astronomia dietro quegli che supponesse essere l'uomo il solo oggetto della cura del suo Creatore, o che non vedesse nel vasto e maraviglioso apparato attorno a noi una provvidenza per altre razze di essere animati. I pianeti, come abbiamo veduto, ricevono la loro luce dal sole, ma questo non può essere il caso per le stelle. Queste indubitatamente sono dunque dei soli per sè stesse, e può forse, ciascuna nella sua sfera, essere il centro preside, intorno al quale altri pianeti o corpi (di cui non ci possiamo formare alcun concetto offertoci dall'analogia col nostro sistema) possono circolare. »

Un'altra circostanza mostra come sia probabile che dei corpi oscuri si rivolgano tra le stelle. Il movimento proprio di Sirio è irregolarissimo, talvolta rapido, e altre volte lento. Bessel e Peters accagionano di questo il compagno oscuro che gira con Sirio intorno al comun centro di gravità, e colla sua attrazione disturba l'equabile moto della stella.

Alcune volte sono comparse delle stelle improvvisamente risplendenti d'una luce brillante e poi svanirono. Parecchi esempi di queste stelle temporanee sono ricordati. Uno rimarchevole accadde nell'anno 125 che si disse aver indotto Ipparco a formare il primo catalogo delle stelle. Un' altra stella comparve d'improvviso vicino l'α dell'Aquila nel 389 che scomparve dopo essere restata per tre settimane così splendida come Venere. Il 10 ottobre 1604 una stella brillante s'accese nella costellazione del Serpentario che continuò ad esser visibile per un anno. Nell' 11 ottobre 1572, una stella fu scoperta a un tratto nella Cassiopea, che rapidamente crebbe in splendore tanto da sorpassare quello di Giove e da esser veduta sul mezzo dì. Essa cominciò a decrescere nel dicembre dell'anno stesso, e nel marzo 1574 disparve interamente, avendo

presentato una quantità di tinte. Si sospetta nondimeno che questa stella possa essere periodicamente variabile e identica con quelle che apparvero negli anni 945 e 1264.

Un caso più recente avvenne nel 1670, quando una nuova stella fu scoperta nella testa del Cigno, la quale dopo essere diventata invisibile, riapparve, ed avendo subite molte variazioni in luce, scomparve dopo due anni, e poscia non si è più veduta. Il 28 aprile 1848 Hind scoperse una stella di quinta grandezza nella costellazione di Ofiunco, che era visibilissima ad occhio nudo, e dove egli era certo che niuna stella ancora così brillante come quelle di nona grandezza aveva mai esistito, nè v'era nessun ricordo di una tale stella. Dal tempo della sua scoperta essa cominciò a diminuire sinchè si estinse. Il suo colore era rossastro, e fu pensato andasse soggetta a notevoli cangiamenti, probabilmente per effetto della sua bassa posizione, essendo la sua distanza polare 102° 39' 14".

J. Herschel scoperse delle variazioni singolarissime nella stella η della costellazione di Argo. Essa è circondata da una meravigliosa nebulosa, e tra gli anni 1677 e 1826 variò due volte dalla quarta alla seconda grandezza, ma cominciando dal 1838 crebbe improvvisamente in splendore, da essere quasi splendida come l'α del Centauro. Quindi essa diminuì ma non al di sotto della prima grandezza sino all'aprile 1843, quando di nuovo crebbe tanto da sorpassare in splendore Canopo, e divenne quasi eguale a Sirio.

J. Herschel osserva rispetto un tale singolar fenomeno che « le stelle temporanee sino a qui ricordate si sono tutte estinte. Le stelle variabili, per quanto siano osservate con accuratezza, hanno presentato alcune alternative regolari e periodiche (almeno fino ad un certo segno) di splendore e relativa oscurità, ma qui abbiamo una stella variabile in tutta la proprietà del termine ad un'estensione sorprendente, e le cui oscillazioni si sono prodotte durante dei secoli, apparentemente in nessuno ordinato

periodo ed in nessuna regolare progressione. Quale origine possiamo noi ascrivere a questi subitanei ravvivamenti e diminuzioni di luce? Che conclusioni tireremo intorno all' abitabilità d' un sistema che dipende per la somministrazione di luce e calorico da una sorgente tanto variabile? La sua sorte futura sarà di grande interesse fisico. Sotto questo rapporto io solo aggiungerò che nel principio del 1838 lo splendore di questa stella era tanto, da interferirsi materialmente con le osservazioni di quella parte della nebulosa che la circonda. » J. Herschel ha scoperto ancora che l' α di Orione è variabile: circostanza notevolissima, siccome essa è una delle stelle più cospicue del nostro emisfero, e nondimeno i suoi cangiamenti non erano mai stati notati. Le conseguenze che Herschel tira dai fenomeni delle stelle variabili sono troppo importanti per non essere riportate qui con le sue stesse parole. « Un cambiamento periodico che esiste tanto palesemente in una stella così grande e splendida come l' α di Orione non può mancare di destare l' attenzione sul soggetto e di ravvivare la considerazione di quelle speculazioni che riguardano la possibilità d' un cangiamento nello splendore del nostro sole istesso, che furono pel primo enunciate da mio padre. Se vi è realmente un' analogia nella natura fra il sole e le stelle fisse, ogni prova, che noi otteniamo dalla grande prevalenza di questi periodici cangiamenti in quei lontani corpi, aggiunge qualche cosa alla probabilità di ritrovare alcun che di questa specie più da vicino a noi. Se il nostro sole fu realmente molto più splendido d' adesso, la temperatura media della superficie del nostro globo deve essere stata naturalmente maggiore in proporzione. Io non parlo ora dei cangiamenti periodici, ma dei secolari. Se non che l' argomento è complicato dalla considerazione d' una trasparenza possibilmente imperfetta, che si può attribuire alle particelle materiali non luminose, diffuse irregolarmente in spazi analoghi alle nebulose, ma

di maggiore estensione; a nubi cosmiche in breve, dell' esistenza delle quali noi abbiamo, io penso, un' indicazione nei singolari e apparentemente capricciosi fenomeni delle stelle temporarie, e forse nel recente aumento straordinario, e nella non meno improvvisa diminuzione dell' η di Argo. »

Hind è venuto alla stessa conclusione con Goodriche e J. Herschel, che i cangiamenti nelle stelle variabili sono dovuti a corpi opachi che si rivolgono intorno ad esse. E infatti vi sono forti ragioni per credere che vi sono dei sistemi solari analoghi al nostro in regioni lontane dello spazio. Il nostro sole richiede nove volte il periodo di Algol per compiere una rivoluzione sul suo asse, mentre dall' altro canto, il tempo periodico d' un corpo opaco che gira, abbastanza grande da produrre una simile temporaria oscurità del sole veduto da una stella fissa, sarebbe minore di 11 ore.

È possibile che il decrescimento di luce di alcune delle stelle variabili derivi da macchie larghe nella loro superficie come quelle vedute alle volte nelle masse fluide raggianti sulla superficie solare. Una di queste macchie che fu misurata da J. Herschel il 20 marzo 1836, con la sua penombra occupava un' area di 3,780 milioni di miglia quadrate, e la parte centrale nera d' una macchia che compariva il 25 maggio seguente avrebbe permesso al globo della terra d' entrarvi lasciando un migliaio di miglia libere dal contatto, tutto attorno il tremendo abisso.

Tutte le stelle variabili registrate, delle quali siano stati distintamente indicate le posizioni, nessuna eccettuata, si sono incontrate ai confini della Via Lattea, e questo solo dentro il secondo semicerchio, non avendo il primo offerto esempio di simil genere.

Molte stelle sono ora scomparse dal cielo. La 42 della Virgine sembra essere di questo numero, essendo stata messa nel catalogo da J. Herschel il 9 maggio 1828, e non

ritrovata più, sebbene egli abbia avuto spesso occasione di osservare quella parte di firmamento. Cooper, dell' Osservatorio Markree, ha dato una lista di 50 stelle mancanti dopo la pubblicazione del suo catalogo delle stelle del 1847. Paragonando lo stato presente del cielo coi cataloghi più antichi, un numero maggiore è scomparso.

Migliaia di stelle che sembrano essere soltanto punti brillanti di luce, quando sono accuratamente esaminati, si ritrovano essere in realtà sistemi di due o più soli, molti dei quali sono conosciuti rivolgersi l' uno intorno all' altro. Questi sistemi binari o multipli sono lontanissimi, abbisognando potenti telescopi per far comparire le stelle separate. Sono essi divisi in otto classi secondo la prossimità delle stelle. La prima classe comprende solo quelle che sono disgiunte meno di 1″ di spazio, quelle della seconda classe sono più lontane di 1″, e meno di 2″ ec. Qualche volta le due stelle sono di eguale grandezza, ma il più spesso una stella lucidissima è accompagnata da una compagna più piccola. In qualche caso la stella maggiore è doppia come nel ζ del Cancro, l' ξ dello Scorpione, l' 11 di Monocerote e la 12 della Lince, le quali sono stelle triple. Ciascuna delle due stelle di ε della Lira è una bella stella doppia, così che quello che a un telescopio comune comparisce puramente essere una stella doppia, è ritrovato essere quadrupla con un istrumento perfetto. Il sistema multiplo di θ di Orione è de' più notevoli oggetti del nostro emisfero. Ad occhio nudo e con teloscopio ordinario sembra una stella semplice; ma realmente consiste di quattro brillanti stelle che formano un trapezio, ed accompagnate da due compagne minutissime e vicinissime, per distinguere l' una dall' altra si ha la prova più sicura d' un telescopio.

Il primo catalogo di stelle doppie in cui sono date le loro posizioni relative, fu eseguito dal talento e dall' accuratezza di W. Herschel, che fece tante e sì grandi scoperte, e che concepì l' idea della combinazione loro

in sistemi binari e multipli: e questo importante fatto egli stabiliva dietro la scoperta di un movimento di rivoluzione in 50 o 60 stelle, e per la determinazione della rivoluzione d'una stella intorno l'altra di Castore o α dei Gemelli, la più grande e la più bella di tutte le stelle doppie nell'emisfero settentrionale. Egli pure assegnò il tempo periodico approssimativo di questi e di parecchi altri sistemi binari. Più di 100 stelle sono ora conosciute essere sistemi stellari; le posizioni di molte centinaia furono misurate da J. Herschel e da James South, ed il catalogo delle stelle doppie nell'emisfero nordico il quale è stato micrometricalmente misurato, è stato aumentato di più di 6,000 da Bessel Struve, e dagli astronomi britannici.

Cataloghi estesi di stelle doppie dell'emisfero australe sono stati pubblicati dagli astronomi delle nostre colonie. A queste furono aggiunte 1,081 stelle da J. Herschel, mentre stava al Capo di Buona Speranza. Egli misurò gli angoli di posizione e le distanze delle stelle l'una dall'altra, e ritrovò che molte di esse avevano un rapido moto orbitale. Gli elementi ellittici delle orbite e dei tempi periodici di 15 sono stati determinati dagli astronomi i più eminenti con maravigliosa accuratezza, considerando le enormi distanze e l'estrema delicatezza e difficoltà del soggetto. Savary ha il merito di avere pel primo determinato gli elementi dell'orbita d'una stella doppia dietro l'osservazione. La difficoltà di farlo è grande, essendo che la stella fissa la più vicina è 211,000 volte più lontana dal sole di quello che sia la terra, e l'orbita stessa è solo visibile co' migliori telescopi; conseguentemente un piccolissimo errore nell'osservazione produce nella determinazione delle quantità a quella distanza un enorme errore.

Nell'osservare la relativa posizione delle stelle d'un sistema binario si misurano la distanze tra loro e l'angolo ancora di posizione, cioè l'angolo che il meridiano

o un parallelo dell' equatore fa con la linea che unisce le due stelle. I valori differenti dell' angolo di posizione dimostrano se la stella girante muovesi dall' est all' ovest o al contrario, se il moto, sia uniforme o variabile, e a quali punti sia massimo o minimo. Le misure delle distanze dimostrano se due stelle s' accostano o s' allontanano l' una dall' altra. Da queste sono determinate la forma e la natura dell' orbita. Se le osservazioni fossero perfettamente accurate, i quattro valori dell' angolo di posizione e delle corrispondenti distanze a date epoche basterebbero per assegnare la forma e la posizione della curva descritta dalla stella girante: questo peraltro non accade mai. L' accuratezza d' ogni risultato dipende dal prendere la media d' un gran numero di ottime osservazioni e dall' eliminare l' errore dietro un mutuo confronto. Le distanze tra le stelle sono così piccole, che non possono essere misurate con la stessa accuratezza come gli angoli di posizione: per questo, a fine di determinare l' orbita d' una stella indipendentemente dalla distanza, è necessario prendere come ipotesi la più probabile, che le stelle sono soggette alla legge di gravitazione, e per conseguenza che l' una delle due stelle gira in un' elisse attorno l' altra, supposta in riposo, sebbene non di necessità, nel foco.

Vien così costrutta in modo perfetto una curva per mezzo degli angoli di posizione e i corrispondenti tempi di osservazione. Le velocità angolari delle stelle si ottengono tirando tangenti a questa curva a stabiliti intervalli; quindi le apparenti distanze o i raggi vettori della stella girante diventano noti per ogni angolo di posizione, essendo che per le leggi del moto ellittico esse sono eguali alle radici quadrate delle velocità angolari apparenti. Ora che gli angoli di posizione calcolati da una data linea e le distanze corrispondenti delle due stelle sono note, un' altra curva può esser tirata sulla curva che rappresenterà l' orbita reale della stella proiettata sulla superficie

visibile del cielo; così che gli elementi ellittici dell' orbita vera e la sua posizione nello spazio possono essere determinati secondo un sistema combinato di misure e di calcoli. Ma siccome quest' orbita si è ottenuta sull' ipotesi che la gravitazione predomini in quelle lontane regioni, ciò che non potrebbe esser noto *a priori,* bisogna fare un paragone con quante più osservazioni si possono ottenere, per accertare quanto la calcolata elisse vada d' accordo con la curva reale descritta dalla stella.

La γ della Vergine consiste di due stelle di quasi la stessa grandezza: esse erano così distinte nel principio e nella metà dell' ultimo secolo, che furono ricordate da Bradley e notate nel catalogo di Mayer come due stelle separate. Dopo quel tempo esse si sono continuamente accostate l' una all' altra sino a che nel gennaio 1836 l' una fu veduta eclissare l' altra da Smyth al suo Osservatorio a Bedford, e da J. Herschel al Capo di Buona Speranza. Una serie di osservazioni dal principio del secolo presente hanno abilitato l' istesso Herschel a determinare la forma e la posizione dell' orbita elittica della stella girante, con verità straordinaria, col mezzo del metodo precedente. Giusta il suo calcolo, la stella giunse al perielio il 18 agosto 1834. La velocità sua anteriore era così grande, che la stella girante descriveva un angolo di 68 gradi in un anno. Per le leggi del moto elittico la velocità angolare di lei deve diminuire sino a che arriva all' afelio. L' accuratezza colla quale i moti dei sistemi binari sono misurati, e la diligenza usata nella deduzione degli elementi ellittici sono ora così grandi, che il tempo periodico della γ della Vergine determinato da Herschel e da Smyth nei loro osservatorii rispettivi, combinato con quelli ottenuti da W. Herschel, differisce soltanto di due anni; avendo J. Herschel ottenuto un periodo di 182 anni, e Smyth di 180. Coll' aiuto di maggior numero d' osservazioni, Fletcher ha ritrovato che il vero periodo è di 184·53 anni, e che la stella in rivoluzione passava il suo perielio nel 1837. Egli

è per questi successivi gradi che l'astronomia fu condotta alla perfezione (N. 232).

Alcune delle stelle doppie hanno lunghissimi periodi, come la σ della Corona, in cui la stella che gira mette 737 anni circa a compire una rivoluzione. Altre al contrario hanno periodi brevissimi, come la η della Corona la ζ del Cancro e la ζ dell'Orsa maggiore, i cui tempi periodici sono 42·500, 58·91 e 58·26 anni rispettivamente: però ciascuna di esse ha compito più di una rivoluzione dopo che furono osservati i loro movimenti. Ercole, il cui tempo periodico è solo di circa 30 anni e $\frac{1}{4}$, ha fatte due complete rivoluzioni, la minore stella essendo stata ogni volta eclissata dalla maggiore. Il primo di questi due maravigliosissimi eventi, d'un sole che ne eclissa un altro, fu veduto da W. Herschel nel 1782.

Le orbite e i tempi periodici di molti di questi sistemi binari essendo stati determinati, vien dimostrato fuori di ogni dubbio che un sole gira attorno un altro sole nel firmamento stellato per la stessa legge di gravitazione che fa girare la terra e i pianeti intorno al sole (N. 232).

Poichè la parallasse della 61 del Cigno e di α del Centauro è stata determinata, J. Herschel ha fatta la seguente approssimazione per le dimensioni dell'orbite e delle masse loro. La distanza tra le due stelle della 61 del Cigno, che è il raggio vettore dalla stella girante, ha appena variato di 15″·5 dalle prime osservazioni, mentre in questo tempo la stella si è mossa per 50°: per questo è chiaro che l'orbita dev'essere quasi circolare. Questa è ad angoli retti col raggio visuale, ed il tempo periodico è di 514 anni. La parallasse o il raggio dell'orbita terrestre, come è veduto dalla stella, è 0″·348, mentre il raggio dell'orbita veduto dalla terra è 15″·5: quindi il raggio dell'orbita della stella sta a quello della terra come 15″·5 a 0″·348, o approssimativamente come 45 ad 1. Così l'orbita descritta dalle due stelle della 61 del Cigno l'una attorno all'altra, di molto

eccede quella che Nettuno descrive intorno al sole. Dacchè sono date la media distanza delle stelle e il loro tempo periodico, la somma delle masse delle due stelle è calcolata essere 0''3529, essendo quella del sole 1. Così il nostro sole non è nè molto maggiore nè molto minore delle stelle che compongono la 61 del Cigno, la quale è una piccola impercettibile stella ad occhio nudo che non eccede la sesta grandezza.

Di tutte le stelle doppie l'α del Centauro è la più bella: essa è la stella più brillante dell'emisfero australe ed eguale in splendore se non superiore ad Arturo. La distanza tra le due stelle è stata decrescente in ragione di mezzo secondo all'anno dopo il 1822, mentre il movimento angolare è andato sottoposto a piccolo cangiamento, il che prova che il piano dell'orbita passa attraverso la terra come le orbite della 44 di Boote e la π del Serpentario; cioè a dire, l'orlo dell'orbita in questi tre sistemi stellari è presentato alla terra, cosicchè la stella girante sembra muoversi in una linea retta ed oscillare da ogni lato della sua primaria. Se questa oscillazione fosse dovuta alla parallasse, sarebbe essa annua dalla rivoluzione della terra intorno al sole; ma siccome gli anni passano prima ch'essa ammonti ad una quantità sensibile, ciò può solo derivare da un reale movimento orbitale veduto obliquamente. In questo caso cinque osservazioni bastano per la determinazione dell'orbita, purchè siano esatte; se non che le quantità da misurarsi sono così piccole, che solo per una lunghissima serie di osservazioni, la precisione può essere ottenuta. Nel 1834 Jacob determinava il tempo periodico della stella girante di α del Centauro essere 77 anni, e la distanza tra le due 17''5; e poichè la diminuzione è un mezzo secondo all'anno, la distanza o il raggio vettore della stella rivolgente era 12''5 nel 1822; e siccome Henderson aveva determinato la parallasse o il raggio dell'orbita della terra come è veduto dalla stella, es-

sere ·913, ne segue che il semi-asse reale dell'orbita della stella girante è 13 volte e $\frac{1}{2}$ maggiore di quello dell'orbita terrestre preso come minimo. Le dimensioni reali dell'ellisse pertanto non possono essere così piccole come l'orbita di Saturno, e probabilmente eccedono quella di Urano. È probabilissimo che un'occultazione di uno dei soli per cagione dell'altro avrà luogo nel 1867, o uno strettissimo avvicinamento delle due stelle.

Delle anomalie singolari sono comparse nei movimenti della 70 di Ofiuco, il quale fu scoperto essere un sistema binario da W. Herschel nel 1779, e che ha dopo di allora compita una rivoluzione. Varie orbite sono state calcolate: quelle che meglio rappresentino gli angoli di posizione mancano rispetto alle distanze delle stelle l'una dall'altra, e viceversa. Ma è un fatto notevolissimo che gli errori sono periodici, essendo per considerevoli periodi di tempo alternativamente in eccesso e in difetto. W. S. Jacob che determinò il tempo periodico della stella girante essere di 93 anni, attribuisce quest'anomalia all'azione perturbatrice d'un corpo opaco che giri intorno la stella minore. Ritenendo sia così, e calcolando, ritrovava che gli errori erano considerabilmente diminuiti e nell'angolo di posizione e nella distanza. Questo è un soggetto della più alta importanza, e degnissimo dell'attenzione di quegli astronomi che hanno i mezzi di fare le necessarie osservazioni. Tra i triplici sistemi come la ζ del Cancro, due delle stelle si rivolgono l'una intorno l'altra in 58·9 anni: ma il movimento della terza e più distante è così lento, ch'essa ha solo compito una decima parte della sua rivoluzione intorno le altre due, dacchè il sistema è stato scoperto.

Si vede dai calcoli di Dunlop che la σ di Eridano compie una rivoluzione in poco più di 30 anni. Il moto di Mercurio è più rapido che quello di alcun altro pianeta, essendo in ragione di 107,000 miglia all'ora. La velocità perielia della cometa del 1680 era di 880,000 miglia al-

l'ora, ma se le due stelle della σ di Eridano o della ξ della Orsa Maggiore sono così lontane l'una dall'altra come la stella fissa più vicina lo è dal Sole, la velocità della stella girante deve eccedere ogni potere d'immaginazione per concepirla. Il moto ellittico delle stelle doppie dimostra che la gravitazione non è confinata ai moti planetari, ma che i sistemi dei soli nelle distantissime regioni dell'universo obbediscono pure alle sue leggi. I sistemi stellari presentano una specie di cronometro sidereo, pel quale la cronologia del cielo sarà indicata ai futuri secoli per epoche sue proprie, non soggette ad alcuna oscillazione in causa di quelle perturbazioni che hanno luogo nel nostro sistema. Alcune stelle sono apparentemente doppie, sebbene in effetto sconnesse, l'una essendo molto al di dietro dell'altra nello spazio, come l'α della Lira che apparentemente consiste di due stelle, l'una di prima grandezza, l'altra di undicesima grandezza. Aldebaran, α dell'Aquila, e Polluce sono esempi notevoli di queste stelle otticamente doppie. È stato dimostrato quanto favorevole questa circostanza sia per accertare la parallasse della più vicina delle due (N. 232).

Le stelle doppie sono di vari colori: alcune volte ambedue sono dello stesso colore, come la α del Centauro e la 61 del Cigno, ove le stelle più grandi sono d'uno splendido arancio, e le più piccole sono della stessa tinta più cupa; ma esse più frequentemente esibiscono colori differenti. La stella grande è generalmente gialla, arancia o rossa, e la piccola bleu, porpora o verde. Qualche volta una stella bianca è combinata con una bleu o porpora, e più di rado con una rossa è unita una bianca. In molti casi queste apparenze sono dovute all'influenza del contrasto del nostro giudizio sui colori. Per esempio, osservando una stella doppia dove la grande ha un colore pienamente rosso o quasi sanguigno, e la piccola ha un bel verde, questa perde il suo colore, quando la prima è nascosta dai fili in croce del telescopio. Questo è il caso della γ

di Andromeda, che è una stella tripla, la più piccola, che comparisce verde, essendo doppia. La ε del Cancro è un esempio d'una stella grande gialla, e d'una piccola che comparisce bleu per contrasto. Ve ne sono ancora moltissime nelle quali i colori sono assolutamente differenti, e suggeriscono la curiosa idea di due soli, uno rosso ed uno verde, o un giallo ed uno bleu, così che un pianeta che giri attorno ad uno di essi può avere la varietà d'un giorno rosso, d'un verde, e d'un giallo e d'un bleu. J. Herschel osserva in una delle sue memorie nelle *Philosophical Transaction* come fatto rimarchevolissimo, che sebbene le stelle rosse siano comuni abbastanza, nessuno esempio sia citato d'una stella isolata di color bleu, verde, o porpora.

Sirio è l'unica stella che si ricordi, il cui colore abbia cangiato. Al tempo di Tolomeo era rossa; ora è una delle stelle più bianche che siano nel cielo.

Struve ha trovato che di 596 stelle doppie splendide, 375 paia hanno la stessa intensità di luce e colore, 101 paia hanno differente intensità, ma l'istesso colore, e 120 paia hanno i colori delle due stelle, decisivamente differenti.

Certi raggi che esistono nella luce solare mancano nello spettro di tutte le stelle colorate, e probabilmente non sono mai esistiti nella luce di esse, siccome non vi è ragione di credere che siano stati assorbiti dall'atmosfera delle stelle, quantunque essi possano essere stati assorbiti dall'atmosfera terrestre. Nessun raggio manca nella luce bianca di Sirio, di Procione e di altre, ma Brewster trovò nello spettro della luce color arancio della ζ di Ercole una fascia difettiva nello spazio rosso, e due o più nel bleu; per conseguenza il colore arancio della stella è dovuto alla mancanza dei raggi bleu; perocchè le fiamme nelle quali mancano certi raggi, prendono il colore dei raggi predominanti. Se i raggi oscuri dello spettro solare fossero dovuti all'assorbimento dell'atmosfera so-

lare, la luce dal margine del disco dovendo passare per una maggiore grossezza, presenterebbe delle linee più profonde di quella che deriva dal centro del sole, ma non essendovi differenza percettibile, si può inferire che le fascie analoghe della luce delle stelle colorate, non sono dovute all'assorbimento delle loro atmosfere, ma che derivano dalle qualità differenti di combustione per le quali questi corpi appariscono luminosi.

Tutti i metodi ordinari sono senza effetto per trovare la parallasse, quando le distanze sono enormi. Un angolo anche di due o tre secondi veduto nel foco de' nostri telescopi più grandi, non è eguale alla grossezza del filo d' un ragnatelo ; ciò che rende impossibile la misura di così minute qnantità con un qualche grado di accuratezza. In alcuni casi nondimeno i sistemi stellari binari forniscono un metodo di calcolare un angolo anche della decima parte d' un secondo; e quello è trenta volte più accurato che qualunque altro mezzo. Per esso le distanze reali di alcune delle più lontane stelle saranno in ultimo conosciute.

Suppongasi che una stella giri attorno un' altra in un'orbita che sia così obbliquamente veduta dalla terra, da comparire come un' ellisse in posizione orizzontale, allora è chiaro che una metà dell' orbita sarà più vicina a noi che l'altra metà. Ora in conseguenza del tempo che la luce mette a scorrere, noi sempre veggiamo la stella satellite in una posizione ch'essa ha di già abbandonato. Quindi allorchè quella stella si muove dal punto della sua orbita che è più vicino a noi, la sua luce metterà sempre più tempo a venire a noi, in proporzione che la stella movesi attorno al punto più distante della sua orbita. Per questa ragione la stella ci comparirà metter più di tempo nel moversi per quella metà dell' orbita sua, di quello ch' essa faccia realmente. Avrà luogo esattamente il contrario sull'altra metà: perocchè la luce metterà sempre minor tempo ad arrivare alla terra in proporzione

che la stella si mostra a noi più vicina, e per ciò sembrerà muoversi per questa metà dell'orbita sua, in minor tempo che non faccia realmente. Questa circostanza somministra il mezzo di ritrovare la larghezza assoluta dell' orbita in miglia, e da questa la vera distanza della stella dalla terra. Perocchè, siccome le distanze massima e minima della stella satellite dalla terra differiscono per la larghezza dell'orbita sua il tempo che la stella mette a muoversi dal punto più vicino al più lontano della sua orbita, è maggiore di quello che dovrebbe essere per tutto il tempo che la sua luce mette a traversare l' orbita, ed il periodo che impiega a muoversi per l' altra metà è esattamente altrettanto minore. Quindi la differenza tra i tempi osservati di queste due semi-rivoluzioni della stella, è eguale a due volte il tempo che la sua luce impiega a traversare la sua orbita; e siccome noi conosciamo la velocità della luce, il diametro dell' orbita può essere ritrovato in miglia, e da questo tutte le dimensioni di essa, perocchè la posizione dell' orbita rispetto a noi è conosciuta per mezzo dell' osservazione, egualmente che la posizione, l' inclinazione e la grandezza apparente del suo asse maggiore, o, ciò che è lo stesso, l' angolo sotto il quale è veduta dalla terra. Giacchè allora, tre cose sono note in questo gran triangolo, cioè la base o l' asse maggiore dell' orbita in miglia, l' angolo opposto a lui nella terra, e l' angolo che fa col raggio visuale; la distanza della stella satellite dalla terra può essere ritrovata col mezzo del più semplice dei calcoli. Il merito di avere pel primo proposto questo metodo ingegnosissimo di ritrovare la distanza delle stelle è dovuto a Savary: ma sfortunatamente non è di un' applicazione generale, siccome quello che dipende dalla posizione dell' orbita, e deve correre lungo tempo prima che la osservazione possa darne i dati, poichè il periodo più breve d' una stella girante che noi conosciamo è di 30 anni. Le distanze ancora d' un gran numero di stelle possono in

ultimo ritrovarsi per questa via, e siccome una scoperta importante quasi sempre conduce ad altra, le masse loro possono così esser pesate, confrontate a quella della terra e del sole.

I soli dati impiegati per ritrovare la massa della terra paragonata a quella del sole, sono il moto angolare del nostro globo attorno al sole in un secondo di tempo e la distanza della terra dal sole in miglia (N. 233). Ora per le osservazioni dei sistemi binari, noi conosciamo la velocità angolare della stella piccola che gira attorno la grande, e quando conosciamo la distanza tra le due stelle in miglia, sarà facile calcolare quante miglia la stella piccola farebbe cadendo in forza dell'attrazione della maggiore, in un secondo, di tempo. Un confronto fra questo spazio e quello attraverso il quale la terra discenderebbe verso il sole in un secondo, darà la ragione della massa della stella grande a quella del sole o della terra. Secondo Bessel, il peso delle due stelle della 61 del Cigno è eguale alla metà del peso del sole. Per poco che conosciamo intorno l'assoluta grandezza delle stelle fisse, la quantità di luce emessa da molte di esse mostra che devono essere molto maggiori che il sole. Il dottor Wollaston determinò la proporzione approssimativa che la luce di una candela di cera ha con quella del sole, della luna e delle stelle, paragonando le loro rispettive immagini riflesse sopra piccoli globi di vetro riempiti di mercurio, donde un paragone fu stabilito tra la quantità di luce emessa dai corpi celesti. Con questo metodo egli trovava che la luce dell'α della Lira è cinque volte e mezzo maggiore che quella del sole. J. Herschel rifletteva la luce della luna *totalmente* per mezzo d'un prisma, la quale concentrata per una lente, era direttamente paragonata con quella dell'α del Centauro. Dopo avere tenuto conto della quantità di luce perduta nel passare per la lente e per il prisma, egli ritrovava che la media quantità di luce mandata alla terra

dalla luna piena eccede quella mandata dall' α del Centauro nella proporzione di 27,408 ad 1. Ora Wollaston ritrovava la proporzione fra la luce del sole con quella della luna piena essere come 801,072 ad 1. Quindi la luce mandataci dal sole sta a quella mandataci dall' α del Centauro, come circa 22 mila milioni a 1. Se non che siccome la parallasse di α del Centauro è 1", essa è realmente due volte e mezzo più splendente che il sole. La luce di Sirio è quattro volte quella di α del Centauro, ma la sua paralasse è solo 0",230: quindi esso ha un intrinseco splendore di 63,02 volte quello del nostro luminare. È stato per questo stimato essere cento volte più grande; così che se Sirio fosse nel posto della terra, la sua superficie si estenderebbe 150 volte più lontano dell' orbita della luna. La luce di Sirio, secondo le osservazioni di J. Herschel, è 324 volte maggiore che quella d' una stella di sesta grandezza: se supponiamo le due stelle essere realmente della stessa grandezza, le loro distanze da noi debbono essere in ragione di 57.3 ad 1, a motivo che la luce diminuisce come il quadrato della distanza del corpo luminoso cresce.

Molte delle stelle hanno movimenti propri del tutto indipendenti dall' annua rotazione della terra nella sua orbita, in modo che si può dubitare se vi sia una cosa tale come una stella fissa. Groombridge è la più rapida che si conosca; essa ha un proprio movimento di 7" annualmante; l' α del Centauro muovesi in ragione di 3"·58 annualmente, e la 61 del Cigno descrive una linea nello spazio di 5"·12 nel tempo stesso. Questi movimenti sono probabilmente in curve, ma alla distanza della terra compariranno linee rette per dei secoli a venire. Il movimento di poco più di 5 secondi di spazio, che la 61 del Cigno descrive annualmente, sembraci estremamente piccolo, ma alla distanza di quella stella un angolo di un secondo corrisponde a 24 milioni di milioni di miglia: per conseguenza l' annuo moto della 61 del Cigno è 120

milioni di milioni di miglia, e nondimeno, come Arago osserva, noi la chiamiamo una stella fissa. Per la cagione stessa è evidente che l'accumulamento delle stelle nella Via Lattea può essere apparente soltanto, e che le stelle possono essere a grandi distanze l'una dall'altra, come senza dubbio lo sono.

Se il sistema solare e quello delle stelle visibili a noi fosse portato avanti nello spazio per un moto comune a tutti, come dei vascelli strascinati da una corrente, per noi che ci moviamo col resto, sarebbe impossibile di accertarne la direzione. W. Herschel pensò che una gran parte dei moti delle stelle sono solo apparenti, derivanti da un moto reale del sole in direzione contraria. Tra molte discrepanze egli ritrovava che le stelle dell'emisfero nordico avevano una generale tendenza a muoversi verso un punto diametralmente opposto alla λ di Ercole, il chè egli attribuiva a un moto del sistema solare in una contraria direzione. Perocchè era evidente per lui che le stelle per gli effetti di prospettiva soltanto, sembrerebbero divergere nella direzione nella quale va il solare sistema, e convergerebbero verso lo spazio lasciato da lui, e che vi sarebbe una regolarità in questi apparenti moti che si potrebbero d'ora innanzi scoprire. Dopo il tempo di W. Herschel, i moti propri delle stelle sono stati determinati con molto maggiore accuratezza, e molte ne furono aggiunte al catalogo, paragonando le antiche e le moderne tavole delle loro posizioni: le sue vedute sono state stabilite da quattro de' più grandi astronomi del secolo, Lundahles, Argelander, Ottone Struve e Peters, che hanno chiaramente provato il moto del sole da quello delle stelle nell'emisfero settentrionale, e Galloway è venuto nella stessa opinione dietro i moti delle stelle dell'emisfero meridionale (N. 234). Il risultato si è che il sole accompagnato da tutti i suoi pianeti dipendenti si muove in ragione di 422,424 miglia, o sopra uno spazio quasi eguale al suo proprio diametro, nel corso di

un giorno, e che il moto è diretto verso un punto della linea che unisce le due stelle μ e π di Ercole ad un quarto dell' apparente distanza di queste due stelle calcolando dalla π di Ercole.

Questa investigazione non era fondata su di alcuna legge proposta o osservata, tale come la circolazione di tutte le stelle del nostro firmamento intorno ad un centro comune, sebbene dei fisici abbiano pensato alle probabilità di questo movimento del sole e delle stelle nel piano della Via Lattea. Se il sole e i suoi compagni stellati si muovessero in un' orbita quasi circolare, il centro del movimento sarebbe nel piano che passa per il sole perpendicolare alla direzione del suo movimento. Le costellazioni per le quali questo gran cerchio passerebbe, sono i Pesci, Australe, Pegaseo, Andromeda, Perseo, ec. Argelander è d' opinione che l' orbita del sole sia approssimativamente nel piano della Via Lattea, e per questo che il suo centro deve probabilmente essere in Perseo; mentre Mädler lo mette nelle Pleiadi, ciò che sembra impossibile: ma i dati sono troppo incerti al presente per ammettere una conclusione assoluta riguardo all' orbita solare e al movimento generale del firmamento stellato: imperocchè, sebbene le stelle in ogni regione del firmamento tendano verso un punto della costellazione di Ercole, non è ancora però noto se i loro movimenti siano uniformi o variabili, se il movimento del sole sia cangiante gradatamente, e se le stelle formino differenti sistemi indipendenti, de' quali ognuno ha il suo centro d' attrazione, o se tutti obbediscano ad una forza prepotente che li tiene a freno e che invade l' intero universo. Le accurate osservazioni delle posizioni d' uno scelto numero di stelle d' ogni dimensione della Via Lattea continuate per una serie di anni, deciderebbero, non vi è dubbio, questo punto.

Il movimento proprio di una stella combinato colla velocità progressiva della luce, altera il tempo apparente

periodico della stella girante di un sistema binario. Se l'orbita d'una stella doppia è ad angoli retti al raggio visuale, e sole e stella sono in quiete, il tempo periodico della stella girante (sia di 10,000 giorni), sarebbe sempre lo stesso. Ma se il centro di gravità della stella s'allontanasse in una linea diretta dal sole colla velocità d'un decimo del raggio dell'orbita terrestre in un giorno, allora alla fine di 10,000 giorni essa sarebbe più lontana da noi di 1,000 di questi raggi: spazio che la luce metterebbe 57 giorni a traversare; quindi sebbene il tempo periodico della stella realmente sarebbe lo stesso, il compimento del suo periodo sarebbe solo a noi noto 57 giorni dopo che esso ebbe luogo; così che il tempo periodico ci comparirebbe essere di 10,057 giorni invece di 10,000. Se la stella s'accostasse al sole invece di allontanarsi della stessa quantità, il tempo periodico apparente sarebbe diminuito di 57 giorni.

Siccome il sole è soltanto un'unità nel sistema stellare, così la Via Lattea e tutte le stelle che adornano il firmamento dei due emisferi, costituiscono un gruppo che non è che un'unità tra i numeri infiniti di gruppi stellari e di nebulose che sono profusamente sparpagliati per l'universo.

Coll'aiuto d'un buon telescopio può esser veduta sulla volta celeste, tra le stelle del nostro sistema stellare e lungi nella profondità dello spazio, un'immensa moltitudine d'oggetti simili a comete o nubi di vapore bianco di diverse forme e grandezze. Alcuni sono misti con le stelle, altri del tutto formati di esse. Molti compariscono come se fossero stellari, ma richiedono un telescopio di un potere altissimo per essere decomposti, ed un gran numero apparisce esser materia rarefatta nel più alto grado possibile non dando segno alcuno di natura stellare; e questi sono in ogni stato di condensazione, da una vaga pellicola appena discernibile fino a quelli che sono arrivati ad un solido nucleo di stelle. Probabilmente l'apparenza

nebulosa in molti casi è puramente dovuta allo splendore dei raggi di stelle innumerevoli che sono invisibili per la loro estrema distanza, come alcune parti della Via Lattea. W. Herschel fu pel primo di quest' opinione, e le nebulose state decomposte dal telescopio di lord Rosse hanno condotto gli astronomi a credere che tale possa essere il caso. Nondimeno le code delle comete, la luce zodiacale, e l'estese atmosfere luminose che abbracciano molte stelle, dimostrano che probabilissimamente una sostanza materiale fosforescente luminosa di per sè in una forma altamente diluita o gassosa esiste in gran copia.

Il numero delle nebulose, come quello delle stelle, è solo limitato dall' imperfezione dei nostri strumenti: perocchè ogni perfezionamento nel telescopio ci abilita a penetrare un poco più avanti nell' infinità dello spazio per vedere un poco più di queste ombre esistenti nella lontana distanza, e per decomporre un poco più quelle che sono comparativamente vicine. W. Herschel esaminò la natura e determinò la posizione di 2,500 nebulose nell' emisfero settentrionale, le cui posizioni furono calcolate dalle proprie osservazioni, ridotte ad un' epoca comune e disposte in un catalogo per ordine di ascensione retta, dalla sua sorella Miss Carolina Herschel, che ha aggiunto lustro al nome che portava, per la scienza sua nelle cognizioni e scoperte astronomiche. J. Herschel rivide le osservazioni del padre, ed aggiunse 800 nebulose al catalogo, prima che andasse al Capo di Buona Speranza per completare la ispezione dei cieli. Al ritorno, pubblicò un catalogo di 2,049 nebulose dell' emisfero meridionale, delle quali 500 erano anteriormente sconosciute, con la loro posizione nel cielo. In un' opera senza pari per eleganza di stile, profondità di cognizioni ed originalità di vedute, egli ha dato le incisioni de' suoi disegni degli oggetti più notevoli, così che qualunque mutazione possa accadere nella loro for-

ma, luogo o condensazione sarà conosciuta dagli astronomi delle età future.

Sebbene infinite per le varietà loro, le nebulose sono di due distinte classi: l' una consiste di macchie di grandi dimensioni, capricciosamente irregolari che assumono tutte le fantastiche forme delle nubi, ora lucide ora oscure, qualche volta simili a vapori che fuggono avanti il vento, qualche volta dispiegano lunghe braccia nello spazio. Molte presentano una superficie mal definita, per cui è difficile il dire, dove sia il centro del massimo splendore. Alcune ampie porzioni sono decomponibili in stelle; molte hanno un' apparenza granulare come se fossero decomponibili, ed altre probabilmente non lo sono per la sola piccolezza e quantità delle stelle, e probabilmente per la lontananza, indicando la forma complessa ed irregolare che prenderebbe la Via Lattea, se fosse veduta da lontano. Una nebulosa magnifica di questa natura è visibile ad occhio nudo nella costellazione d' Orione; è di grande estensione, manda dei rami anche nell' emisfero meridionale, e sebbene il telescopio di lord Rosse ne abbia determinato una gran parte che sino a qui aveva resistito agli altri, ve ne sono alcune che continuano ancora a mantenere la loro apparenza nebulosa per l' estrema loro distanza, presentando una specie d' aspetto chiazzato come fiocchi o frangie di lana, od un firmamento a pecorelle. Non può esservi dubbio del suo essere una congerie impenetrabile di stelle, e vi è ragione di credere abbia mutata la sua forma in alcune parti dentro gli ultimi 50 anni. Grandi moltitudini di nebulose di questa sorta sono così languide, da essere difficilmente distinte fino a che esse non siano state per qualche tempo nel campo del telescopio, o siano appunto per abbandonarlo. Alle volte sono così vaghe, che l' occhio è conscio di qualche cosa che è presente, senza potere definire che cosa sia, ma la immutabilità della sua posizione convince la mente che è un oggetto

reale: « un' imagine era davanti gli occhi miei, ma io non poteva scoprirne la forma. »

Nessun disegno può dare un' idea dei limiti d'una nebulosa come quella di Orione: pure col telescopio di lord Rosse, gli orli o l' estremità sfumansi in una nebbia luminosa che diventa più rada fino all' impercettibilità, o finisce in un tessuto di leggieri fiocchi, o in fili che si fanno più fini e più dispersi, finchè non si vedono più, dimostrando che i reali limiti non sono stati veduti.

L' altra classe di nebulose molto inferiori in grandezza, di forme definite e di grande varietà di caratteri, sono disperse pei lontani cieli, o riuniti in un grande distretto nebuloso lungi dalla Via Lattea. Molte si uniscono alle stelle come strofinacci di nubi, altre sono esattamente come comete con chioma e coda, ma le forme più definite sono nebulose anulari, e lenticolari, stelle nebulose, nebulose planetarie ed ellittiche e stellati gruppi. Però ve ne sono due nell' emisfero nordico differenti da tutti questi, i quali sono stati descritti da J. Herschel come oggetti abbaglianti. Uno nella Vulpecula è simile ad un cristallo d'orologio a polvere, o ad una campana di lucente materia, circondato da una rarefatta atmosfera luminosa in modo da dare al tutto una forma ovale, o l' apparenza di una sferoide oblonga; con un potere ottico maggiore la sua forma è sempre la stessa, ma la parte più brillante è risoluta in stelle, e la parte nebbiosa sebbene sempre nebulosa prende quella apparenza screziata, la quale dimostra che il tutto è un sistema stellare di specialissima struttura: essa è un fenomeno che non ha somiglianza con nessun altro oggetto noto. (Fig. 3, tav. 8, e fig. 3, tav. 9). L' altro per verità è molto maraviglioso, e la sua storia dimostra il graduale aumento nel potere del telescopio di penetrare lo spazio. A Messier compariva come una nebulosa doppia con delle stelle: col telescopio di W. Herschel esso presentò l' apparenza d' una nebulosa rotonda lucida circondata

ad una piccola distanza da un alone o aureola, e accompagnato da un compagno; mentre nel riflessore di 20 piedi di John Herschel sembrava « consistere d' un nucleo rotondo brillante, circondato a distanza da un anello nebuloso interrotto attraverso la metà della sua circonferenza, e che aveva le porzioni fesse separate con un angolo di 45°, ciascuna al piano dell' altra, (Fig. 1, tav. 10.) Questa nebulosa apparve a J. Herschel « avere una forte somiglianza colla Via Lattea, suggerendo l' idea d' un sistema fratello che ha una reale fisica rassomiglianza e forte analogia di struttura al nostro proprio. »

Quest' oggetto, che discoprì a lord Rosse il sorprendente fenomeno delle nebulose spirali vedute col suo telescopio, presenta l' apparenza della Fig. 1, tav. 10, nella quale la parziale divisione del lembo dell' anello in due rami è ad un tempo riconosciuta nelle brillanti convoluzioni della spirale. La nebulosa esterna è connessa per una piccola fascia curva luminosa con l' anello; il tutto è o risoluto in stelle, o permanentemente può esistere con un potere ottico anche superiore. Rispetto alla maravigliosa nebulosa in discorso, lord Rosse osserva « che con ogni aumento del potere ottico la struttura diventò più complicata e più dissimile a cosa alcuna che risultasse da qualche forma d' una legge dinamica, della quale ritrovisi una rassomiglianza nel nostro sistema. La connessione del compagno con questa grande nebulosa, di cui non vi è il minimo dubbio, aumenta la difficoltà per formare qualunque ipotesi. È impossibile che un sistema simile potesse esistere senza un movimento interno al quale possa essere aggiunto un mezzo resistente, ma questo non può essere riguardato come un caso di equilibrio puramente statico. « Questo non è il solo esempio d' una nebulosa spirale: lord Rosse ne ha scoperte parecchie altre; alcune sono vedute facilmente, altre richieggono il più grande potere del suo telescopio. Fra i numerosi rampolli che si ramificano dalla Via Lattea e

scorrono lontano nello spazio, è probabile, che ve ne possano essere alcuni che partecipano della forma spirale.

Vi sono sette nebulose anulari nell' emisfero nordico dopo che lord Rosse ha scoperto che cinque delle nebulose planetarie appartengono a questa classe. Un esempio dei più belli d' una nebulosa anulare si vede a mezza via tra la β e la γ della Lira (Fig. 2, tavola 9). Secondo J. Herschel essa è ellittica nella ragione di 4 a 5, ed è distintamente definita, l' apertura interna occupando circa la metà del diametro. Questa apertura non è affatto oscura, ma piena d' una luce debolmente nebbiosa, simile ad un fine velo disteso sopra un cerchio. Il suo diametro deve essere mille trecento volte più grande di quello dell' orbita terrestre, se è così lontana da noi come la 61 del Cigno; dimensioni che sono le più maravigliose. Il telescopio di lord Rosse risolve questo oggetto in stelle di estrema minutezza con filamenti di stelle aderenti ai suoi orli ed una bella stella brillante nel suo interno. Questi anelli sono come gusci vuoti i cui margini sembrano più lucidi essendo che la sostanza nebulosa qualunque siasi, è più condensata all' esterno che al centro. L' altra nebulosa anulare dell' emisfero nordico descritta da J. Herschel è un oggetto piccolo languido e più facilmente riducibile in stelle. Una delle nebulose anulari veduta da lord Rosse è circondata da un sbiadito anello esterno piatto; un' altra ha delle anse come se un anello nebuloso la circondasse e si fosse accorciato. Due nebulose anulari hanno dei fori, come se il nero firmamento si vedesse tra le aperture dell' interna nebbia; giacchè in nessun caso l' apertura centrale è del tutto oscura.

Alcune nebulose sono come sistemi anulari molte ellittici obliquamente veduti. Se sono anelli ellittici schiacciati, il centro oscuro può essere una reale apertura, ma se i sistemi fossero una serie di gusci concentrici di grande elitticità che circondano un abisso, l' asse oscuro

potrebbe essere solamente una linea di comparativa oscurità.

La connessione delle nebulose ellittiche con le stelle doppie è ricordata come molto notevole. In una nebulosa ellittica il cui asse più lungo è di 50″, vi sono due individui, ciascuno di una stella doppia di 10^{ma} grandezza, situati in simmetria, quasi più vicino al vertice dell' elisse che ai fochi: nell' altra le stelle sono disuguali, ma situate esattamente all' estremità dell' asse maggiore come nella tav. 8: oltre questi si hanno parecchi altri esempi.

Le nebulose doppie non sono rare nei due emisferi, rappresentando tutte le varietà di distanza, posizione e relativa lucentezza con le loro controparti di stelle doppie. La rarità di nebulose solitarie così grandi, languide, e così poco condensate nel centro come queste, rende assai improbabile che due corpi simili siano accidentalmente così vicini tanto da toccarsi e spesso da sovrapporsi in parte l' un all' altro, come queste fanno. Egli è molto più verisimile che essi costituiscano dei sistemi, e se è così, il discoprire se posseggono il moto orbitale formerà un oggetto importante di future ricerche.

Le nebulose stellari sono dei begli oggetti che differiscono affatto da tutti i precedenti. Sono rotonde od ovali, e crescono in densità verso il centro. Qualche volta la materia centrale è così altamente e fittamente condensata e definita, che la nebulosa può essere presa per una splendida stella circondata da una sottile atmosfera. Una è una stella di ottava grandezza esattamente nel centro d' una atmosfera rotonda lucida del diametro di 25″; la stella è assolutamente stellare e non già un nucleo: e non ha la più piccola apparenza di poter essere decomposta. Altra stella nebulosa ritrovasi in ε di Orione, la quale possiede una larga atmosfera, in cui vi è una cavità oscura non in simmetria con la stella, ed una piccola stella doppia con un' apertura simile sull' orlo della atmosfera. Lord Rosse osserva che que-

ste aperture compariscono essere della stessa natura con quella che è dentro le brillanti stelle nel trapezio di Orione, le stelle essendo all' orlo suo; ed egli è convinto che le stelle non solo siano congiunte colla nebulosa, ma che siano egualmente distanti da essa; quindi se la loro parallasse può essere ritrovata, la distanza di quella nebulosa sarebbe determinata. La luce zodiacale o l' atmosfera luminosa lenticolare del sole, che può essere veduta estendersi al di là delle orbite di Mercurio e di Venere tosto dopo il tramonto del sole in aprile e maggio o prima dell' aurora in novembre e dicembre, sembra porre il nostro sole tra la classe delle nebulose stellari. L' atmosfera estesa e delicata di queste stelle nebulose prende tutti i gradi di ellitticità dalla circolare, al raggio della figura a fuso, o alla linea quasi retta.

Le nebulose planetari hanno esattamente l' apparenza di pianeti con dischi rotondi od ovali, qualche volta distintamente terminati, altre volte nebbiosi e mal definiti. La loro superficie che è azzurra o bianco–turchiniccia, è uniformemente chiazzata a strisce, e la loro luce alle volte rivaleggia in vivacità con quella dei pianeti. Esse sono generalmente accompagnate da minute stelle che danno l' idea di satelliti seguaci. Queste nebulose sono di enormi dimensioni. Una vicino a γ dell' Acquario ha un diametro sensibile di circa 20 secondi, ed un' altra ne presenta uno di 12. J. Herschel ha calcolato che, se questi oggetti son così lontani da noi come le stelle, la loro reale grandezza deve essere, dietro il più basso calcolo, tanta da riempire l'orbita di Urano. Egli conclude che, se esse sono corpi solidi d' una natura solare, il loro intrinseco splendore deve essere molto inferiore al solare, essendo che una porzione circolare del disco del sole sottendendo un angolo di 20 secondi, darebbe una luce eguale a quella d' un centinaio di lune piene; mentre, al contrario, gli oggetti in questione sono appena, se lo sono, visibili ad occhio nudo. Dalla uniformità dei dischi di queste ne-

bulose planetari e dalla loro apparente mancanza di condensazione, egli presume che esse possano essere gusci vuoti che mandano luce dalle loro superfici soltanto. L'emisfero meridionale n'è ricchissimo, mentre 28 o 29 ne sono state scoperte, alcune nel mezzo d'un gruppo di stelle col quale formano un bellissimo contrasto. Tre sono di un deciso azzurro, una di bleu di Prussia o verde debole, e l'altre due d'un azzurro celeste vivissimo, di grande bellezza e delicatezza. Una sembra appartenere alla classe delle nebulose doppie o nebulose doppie stellari della massima lontananza. Dacchè il telescopio di Lord Rosse ha dimostrato che cinque delle nebule planetari sono anulari, alcune di quelle dell'emisfero australe possono in ultimo ritrovarsi appartenere a questa classe.

Probabilmente nove decimi almeno delle nebulose contenute nel cielo consistono di forme sferiche o ellittiche, che presentano ogni varietà di grandezza e centrale condensazione. Un gran numero di queste sono state decomposte in stelle, ed una grande quantità presenta quella apparenza screziata, che ci rende certi che un aumento di potere ottico le decomporrebbe. Quelle che resistono, si comportano così a motivo della piccolezza e mutua vicinanza delle stelle di cui consistono.

Le nebulose ellittiche sono comunissime: la più bella di tutte può esser veduta vicino la stella υ nella corona d'Andromeda. Essa è visibile ad occhio nudo, e spesso è stata presa per una cometa. Con un telescopio ordinario essa ha la forma a fuso della fig. 6, tav. 5, essendo la lucentezza da prima gradatamente, poscia rapidamente condensata al centro, così che è stata paragonata ad una stella risplendente dietro una lamina di corno, ma non si è mostrata mai decomponibile anche con forti mezzi ottici, sino che Bond la esaminò all'Osservatorio di Cambridge negli Stati-Uniti. Egli ritrovava che la sua lucentezza estendevasi per 2 gradi e $\frac{1}{2}$ in lun-

ghezza, e più di un grado in larghezza, inchiudendovi due piccole nebulose adiacenti, così che è ovale. Essa è fortemente e rapidamente condensata in un nucleo sul suo lato nordico, e sebbene non sia stata tutta decomposta, è stata veduta sparsa di stelle come fosse polvere, ossia minutissime stelle visibili, le quali non lasciano alcun dubbio che sia un sistema stellare. La parte più rimarchevole della scoperta di Bond sono le due strettissime linee oscure, che si estendono lungo un lato dell'ovale parallelo all'asse suo maggiore. Queste fascie nere difficili a distinguersi, indicano una struttura a strati, e non sono il solo esempio di tale ordinamento nelle nebulose. La fig. 1, tav. 9, è stata disegnata da Bond per questa nebulosa.

Una gran quantità di nebulose compariscono ad occhio nudo, o sono vedute con telescopi ordinari, come comete rotonde senza coda, ma quando sono guardate con istromenti di grande forza, eccitano l'idea di uno spazio globulare isolato nel cielo e pieno di stelle, costituente una famiglia o società a parte dal resto, soggetto solo alle proprie leggi interne. Mettersi a contare le stelle in uno di questi gruppi globulari, dice J. Herschel, sarebbe vano compito; non sono contabili nemmeno a centinaia. Con un calcolo all'ingrosso si vede che molti gruppi di questa sorta devono contenere 10 o 20 mila stelle compatte, strette insieme in uno spazio tondo, la cui area apparente non è più che una 10^{ma} parte di quella coperta dalla luna: così che il suo centro dove le stelle sono vedute proiettate l'una sull'altra è uno sprazzo di luce. Se ciascuna di queste stelle fosse un sole, e se fossero separate da intervalli eguali a quello che separa il nostro sole dalla stella più vicina, la distanza che rende l'intero gruppo appena visibile ad occhio nudo deve essere così grande che l'esistenza di questa splendida unione può esserci nota solo mediante la luce che deve essere partita da esso almeno un mille anni prima.

Questi magnifici aggregati globulari o sferoidali di stelle sono disposti in modo che gli strati interni sono più affollati e diventano più approssimativamente sferici quanto più essi si accostano al centro. Uno dei più splendidi oggetti di questa natura può essere veduto nella costellazione di Ercole (N. 235).

Di 131 di questi magnifici oggetti nell' emisfero meridionale, due sono eminentissimamente splendidi. Il gruppo globulare α del Centauro è al di là d' ogni paragone il più bello della sua specie: esso è perfettamente sferico, ed occupa un quarto d' un grado quadrato: le stelle in lui sono letteralmente senza numero, affollate ed aggregate fittamente verso il centro, e siccome la sua luce non è per un occhio nudo più che quella d'una stella di quarta o di quinta grandezza, la loro piccolezza è estrema. Vi è un foro oscuro nel suo centro con un ponte di stelle a traverso; circostanza peculiare a questo gruppo.

Il gruppo globulare di Lacaille, o 47 di Toucano, è completamente isolato in una parte oscurissima del firmamento non lungi dalla minore delle nubi magellaniche. Delle stelle che sono di quattordicesima grandezza immensamente numerose, compresse e bianche formano tre ordini distinti attorno ad un centro dove d' improvviso cangiano di colore e formano uno sprazzo di luce colorata in rosa. Un gruppo consiste di stelle grandi rossastre e di piccole bianche: un altro di maggiore bellezza consiste di gusci o intonachi di stelle di 11ma e 15ma grandezza. Vi sono 30 gruppi globulari di suprema bellezza raccolti dentro uno spazio circolare di non più di 18° di raggio che giace nella parte del firmamento occupata dalle costellazioni della Corona australe, del corpo e della testa del Sagittario, della coda dello Scorpione, d' una parte del Telescopio e dell' Ara. La Via Lattea passa diametralmente a traverso l' area circolare in discorso: il che dà una prodigiosa lucen-

tezza a questa parte del cielo. Perocchè oltre questi gruppi globulari che tutti si ritrovano nella parte stellata e non già negli spazi oscuri, queste sono le sole nebulose anulari dell'emisfero meridionale. Nessuna parte dei cieli è più piena di belli oggetti e notevoli per sè stessi, e resi così anche di più pel loro modo di associazione e per le peculiari figure assunte dalla Via Lattea; il che riesce senza confronto per ricchezza e magnificenza con nessuna altra parte de' cieli. Alcuni dei gruppi globulari sono tanto lontani che le stelle sono appena discernibili: sembrano polvere di stelle. Vi è un gruppo globulare doppio nell'emisfero meridionale di piccolissime dimensioni e separato da un sottile intervallo; combinazione che suggerisce l'idea di un gruppo globulare che gira attorno una sferoide compressissima ai poli nel piano dell'equatore ed in un'orbita che è circolare, e veduta obliquamente come la nebulosa centrale istessa, avrebbe un diametro qualche cosa più che quattro volte quest'ultima; sistema stupendo senza dubbio, ma la cui realtà non può supporsi improbabile.

Qui si vede che vi è qualche connessione fra la ellitticità della forma e la difficoltà della risoluzione; perchè i gruppi sferici sono decomponibili facilmente nelle loro stelle componenti, mentre è raro l'esempio di un gruppo ellittico che ceda fuorchè ad un potere ottico fortissimo. Le vaste masse dalle nebulose non sono mai state decomposte. Il grande telescopio di lord Rosse ha risoluto alcune parti della nebulosa d'Orione e varie altre che non avevano ceduto ad istrumenti di minor forza; esso rende abili gli astronomi a penetrare più lungi nello spazio e presenta gli oggetti con maggior chiarezza che nessun altro. Se non che per quanto eccellente sia questo istrumento, alcune migliaia di nebulose non sono state risolute ancora. Quelli che s'immaginano che un'opera umana possa risolvere tutta la materia nebulosa dei cieli, devono avere un'idea limitata assai dell'estensione e sublimità del creato.

Innumerevoli nebulose in ambi gli emisferi prendono la forma di gruppi stellari, ma sono totalmente differenti dai gruppi globulari, in quanto che essi prendono una forma irregolare e seguono una legge di condensazione non uniforme. Le Pleiadi sono un esempio del nostro sistema stellare, perchè, sebbene 7 o 8 stelle siano visibili ad occhio nudo, i telescopi mostrano che più di 200 appartengono a questo gruppo. Nella costellazione del Cancro vi è una macchia luminosa chiamata il Presepio o l'Alveare, che un telescopio ordinarissimo decompone in stelle, e la costellazione Chioma di Berenice è un altro gruppo stellare. Molti sono d'una bellezza squisita come quello attorno l'α della Croce che sebbene consistente solo di cento e dieci stelle, è simile ad un oggetto di gioielleria fantastica, per i colori delle stelle che sono verdicce, bianche, verdi, verdi-turchinicce e rosse. Molti di questi gruppi contengono migliaia di stelle, e sono frequentemente nelle parti più povere del firmamento, come se nel corso dei secoli le stelle siano state attratte verso il centro.

L'esistenza d'ogni grado d'ellitticità nelle nebulose, dai lunghi raggi lenticolari all'esatta forma circolare, e di ogni apparenza di condensazione centrale, dall'incremento il più leggero di densità al nucleo apparentemente solido, può essere calcolata, supponendo che la costituzione generale di queste nebulose sia quella di masse sferoidali compresse ai poli di ogni grado d'appiattamento dalla sfera al disco e d'ogni varietà nella loro densità ed ellitticità verso il centro. Sarebbe non di meno erroneo l'immaginare che le forme di questi sistemi siano mantenute da forze identiche a quelle già descritte, che determinano la forma d'una massa fluida in rotazione: essendo che se le nebulose sono solo gruppi di stelle separate come nel maggior numero dei casi, dove vi è ragione di credere che ciò sia, nessuna pressione può essere propagata loro attraverso. Per con-

seguenza, poichè nessuna generale rotazione di tale sistema, come d'una massa sola può essere supposta, si può concepire essere una forma quiescente che comprende dentro i suoi limiti un indefinito numero di stelle, ognuna delle quali può muoversi in un'orbita attorno il comun centro dell'intero, in virtù d'una legge d'interna gravitazione risultante dalla gravitazione composta di tutte le sue parti. J. Herschel ha provato che la esistenza di un tale sistema non è incompatibile con la legge di gravitazione sotto certe condizioni.

La distribuzione delle nebulose nei cieli è anche più irregolare che quella delle stelle. In alcuni luoghi esse sono così addensate insieme, che appena una ne passa pel campo del telescopio, un'altra apparisce, mentre in altri siti scorrono le ore senza che una sola nebulosa si faccia avanti. In generale sono visibili solo coi telescopi migliori, e sono più abbondanti in una zona la cui generale direzione non è lontana dai circoli orari 0 ore e 12 ore, e che attraversa la Via Lattea quasi ad angoli retti. Dove questa zona di nebulose passa le costellazioni della Vergine, della Chioma di Berenice e dell'Orsa maggiore, esse vi si ritrovano a moltitudini.

Il sistema delle nebulose è quasi diviso in due parti dalla Via Lattea. Un terzo di tutte le nebulose visibili forma nel cielo una larga massa irregolare, interrotta da intervalli vuoti che riempie circa un ottavo della superficie dell'emisfero settentrionale. Essa occupa le costellazioni del Leone, del Leone minore, il corpo, la coda e le gambe posteriori dell'Orsa maggiore, il naso del Camelopardo, la punta della coda del Dragone, il Cane da caccia, la Chioma di Berenice, la gamba anteriore di Boote, la testa, le ale e le spalle della Vergine, che è la parte più ricca. Vi è una regione minore di nebulose in questo emisfero, ma separata affatto dalla precedente e che occupa il petto e le ali del Pegaseo, i Pesci e Andromeda. Se potessimo immaginare che l'anello o la zona

della Via Lattea incerchiasse o coincidesse coll' orizzonte, la grande massa delle nebulose formerebbe un baldacchino sopra la testa, discendendo giù a considerevole distanza in tutti i lati, specialmente verso il polo nord, e la parte più ricca che è nella Vergine sarebbe allora direttamente sopra la testa nel polo nord della Via Lattea, cioè in ascensione retta di 12 ore 47 minuti e a 64° nord di distanza polare.

Ad eccezione delle nubi magellaniche vi è una molto maggiore uniformità nella distribuzione delle nebulose nell' emisfero meridionale che nel settentrionale. Sono separate da spazi vuoti di maggiori o minori dimensioni. Una di queste regioni sterili si estende per quasi 15° tutto attorno il polo sud, e vicino al suo limite: la minore delle nubi magellaniche sta completamente isolata, mentre la maggiore nube è in connessione con qualche cosa che si accosta alla zona degli spazi nebulosi che si estendono lungo il dorso di Dorado, traverso una porzione dell' Orologio e dell' Eridano, parte della Fornace e sopra le zampe della Balena all' equatore, dove s' unisce con le regioni nebulose dei Pesci.

Le nubi magellaniche formano due delle figure più sorprendenti dell' emisfero meridionale. Tutte e due queste nebulose sono visibili ad occhio nudo, essendo quasi della stessa intensità che le porzioni più brillanti della Via Lattea, ma la minore è del tutto cancellata dal lume di luna, e lo è quasi la maggiore. Sono assolutamente sconnesse con la Via Lattea e l' una con l' altra. La *Nubecula major* è di molto superiore alla *Nubecula minor* per ogni rispetto, sebbene siano simili nell' interna struttura. La prima consiste di larghi tratti e di spazi mal definiti di nebulose indecomponibili e di nebulosità in ogni grado di decomposizione sino alle stelle perfettamente risolute come la Via Lattea, ed anche di nebulose regolari ed irregolari propriamente dette, di gruppi globulari in ogni grado di decomponibilità e di

gruppi abbastanza isolati e condensati da esser compresi sotto la indicazione di gruppi stellari. Di questi la nebulosa, conosciuta come la 30 Dorado di Lacaille, è troppo notevole per esser taciuta. Essa è molto grande, situata dentro la *Nubecula major,* e consiste di un insieme di maglie quasi circolari che si connettono in un centro, nel quale, o vicino, vi è un foro oscuro circolare. In breve, per il numero e la varietà degli oggetti nulla vi è simile a questa nube. Dentro un'area di soli 42° quadrati J. Herschel ha determinato le posizioni e registrato 278 nebulose e gruppi di stelle con 50 o 60 membri esterni immediatamente adiacenti. Le parti anche più affollate dello strato della Vergine nell' ala di questa costellazione o nella Chioma di Berenice nulla offrono che le si accosti. Egli è evidente dal miscuglio di stelle e di nebulosità non decomposte che probabilmente possono esser risolute con poteri ottici più forti, che le nebulose sono da riguardarsi come sistemi *sui generis* e che non hanno analogia nel nostro emisfero.

Vicino alle nubi magellaniche, la grande nebulosa intorno la η di Argo è uno degli oggetti più maravigliosi del firmamento meridionale. Essa è situata in quella parte della Via Lattea che giace tra il Centauro ed il corpo di Argo, nel mezzo d' una di quelle masse ricche e brillanti, serie che è in tanto bel contrasto con gli spazi adiacenti profondamente oscuri, e circondata da una delle parti più belle del cielo meridionale. John Herschel dice: « Sarebbe impossibile dare con le parole un' idea giusta delle forme capricciose ed irregolari produzioni della luce modificata dai differenti rami e dalle appendici di questa nebulosa. Nè è facile col linguaggio dare una piena impressione della bellezza e della sublimità dello spettacolo che essa offre quando è veduta ad un tratto con una gloriosa e innumerevole processione di stelle, cui essa forma una specie di scala, giustificando l' espressioni, che sebbene io le ritrovi scritte

nel mio giornale, nell' eccitazione del momento, sarebbero giudicate stravaganti, se trasportate in queste pagine. In fatto è impossibile, per uno che abbia la minima scintilla d' entusiasmo astronomico, passare quietamente in rivista con un potente telescopio ed in una bella notte, quella porzione del firmamento meridionale che si comprende tra il 6° ed il 13° d' ascensione retta e dal 146° al 149° di distanza polare nord: tali sono la varietà e l' importanza degli oggetti che incontrerà, e tale l' abbarbagliante ricchezza del fondo stellato sul quale essi sono presentati alla sua attenzione. » In quella porzione di firmamento vi sono molte belle stelle doppie; ricchi gruppi di stelle: il gruppo elegante di stelle variamente colorate attorno la κ della Cruce; una grande nebulosa planetaria con una satellite; un' altra d' un colore azzurro brillante, squisitamente bella ed unica; ed in ultimo la η di Argo istessa, l' esempio il più straordinario d' una stella variabile nell' istoria astronomica.

Di sovente accadeva mentre J. Herschel passava in rivista il cielo meridionale, che alcune parti del firmamento fossero indicate per oscurità più profonda che le altre, sebbene nessuna stella potesse vedersi, e spesso avveniva che lungi dalla Via Lattea o di una grande nebulosa o gruppo stellare, vi fossero delle indicazioni di rami lontanissimi della Via Lattea, o d' un sistema o sistemi siderei indipendenti, portanti una rassomiglianza a tali rami. Questi erano indicati da una punteggiatura eccessivamente delicata ed uniforme del firmamento, resultanti da punti di luce, troppo piccoli per ammettere che alcuno di essi sia stato costantemente e fissamente guardato, e troppo numerosi per essere contati, anche quanto fosse possibile guardarli. La verità di questa esistenza vien sentita al momento dell' osservazione, ma la convinzione, sebbene spesso rinnovata, non è permanente. I luoghi dove questi fenomeni avvengono sono indicati, affinchè quelli che desiderano verificarli, lo possano fare.

Questo è un piccolo estratto d' una piccolissima porzione delle scoperte contenute nella grand' opera di Herschel sulle Nebulose e sugli altri Fenomeni dell' Emisfero Meridionale: opera che crescerà in stima col progresso degli anni. Senza dubbio la forma e la struttura interna di molte di queste Nebulose saranno cangiate dai telescopi di maggior forza, ma siccome le posizioni dei fenomeni principali sono state determinate, la data di quella grand' opera può essere riguardata come l' epoca del tempo nebulare, donde tutti i cangiamenti che hanno avuto luogo nelle regioni le più distanti dell' universo, saranno apprezzati nei secoli futuri; e negli scritti inimitabili del padre così altamente dotato d' ingegno, e del figlio, il lettore ritroverà trattati questi soggetti in uno stile degno di essi e di loro. L' eccellenza degli istrumenti di questi ultimi anni, ed anche più la valentia degli astronomi degli Osservatorii stranieri, ha immensamente aiutato il progresso dell' astronomia siderale. Non è stata essa coltivata con meno successo presso di noi e nelle nostre colonie. Certo una delle più rimarchevoli caratteristiche dei nostri tempi si è il numero degli Osservatorii privati fabbricati e forniti dei migliori istrumenti da persone private, il cui zelo è stato ricompensato da eminenti successi in tutti rami della scienza.

Cotanto numerosi sono gli oggetti che incontra la nostra vista nel cielo, che non possiamo imaginare un punto dello spazio dove qualche lume non percuota l'occhio: stelle senza numero, migliaia di sistemi doppi e multipli, gruppi che abbarbagliano con la loro diecina di migliaia di stelle, e nebulose che ci sorprendono per la stranezza delle loro forme, e l' incomprensibilità della loro natura, fino all' ultimo, per i limiti dei nostri sensi, anche questi sottili ed aerei fantasmi svaniscono nella lontananza. Se questi corpi remoti splendessero per luce riflessa, noi saremmo inconsci della loro esistenza. Ogni stella deve quindi essere un sole, e può presu-

mersi che abbia il suo sistema planetare, satelliti e comete come il nostro, e per qualche cosa che noi conosciamo, miriadi di corpi possono essere erranti nello spazio a noi invisibile, della cui natura non possiamo formarci un' idea, ed anche meno della parte ch' essi fanno nell' economia dell' universo. Nel nostro sistema pure, o ai limiti i più lontani di esso, dei piccoli corpi possono aggirarsi come i pianeti telescopici, che sono tanto minuti che le loro masse sono state sino adesso inapprezzabili, e ve ne possono essere di più piccoli. Non è questa una presunzione senza fondamento: molti di questi vengono dentro la sfera dell' attrazione terrestre, sono infiammati per la velocità colla quale passano attraverso l' atmosfera, ma non lasciano alcun residuo. Questi, che sono conosciuti come stelle cadenti e meteore, sono periodici, ma non è tale il caso degli aeroliti, che sono pure infiammati per l' improvvisa condensazione dell' aria nell' entrare nella nostra atmosfera, e sono precipitati in masse solide con tale violenza sulla superficie terrestre, che spesso restano seppelliti nel suolo.

La caduta delle pietre meteoriche è molto più frequente di quello che generalmente si creda; appena scorre un anno senza che ne avvenga qualche esempio; e se si considera che solo una piccola parte della terra è abitata, si può presumere che un gran numero ne cada nell' oceano o sulla parte disabitata della terra non veduta dall' uomo. Esse sono qualche volta di molta grandezza ; il volume di parecchie ha ecceduto quello del pianeta Cerere che ha 70 miglia di diametro. Una che passò alla distanza di 25 miglia da noi, fu calcolata pesasse 600,000 tonnellate, e si muovesse colla velocità di circa 20 miglia per secondo : un frammento solo ne arrivò alla terra. La obliquità della discesa delle meteoriti, le sostanze peculiari di cui sono composte, e l' esplosione che accompagna la loro caduta, mostrano che sono stra-

niere al nostro sistema: ma da dove derivino è ancor un mistero.

Le stelle cadenti e le meteoroliti scoppiano dal chiaro firmamento azzurro, e lanciandosi lungo i cieli si estinguono senza lasciare residuo, eccettuato un vapore simile al fumo, e d'ordinario senza rumore. La loro parallasse dimostra che sono altissime nell' atmosfera, qualche volta anche al di là de' supposti limiti di questa, e la direzione del loro movimento è per la maggior parte diametralmente opposta al movimento della terra nella sua orbita. Le moltitudini sorprendenti delle stelle cadenti e dei globi di fuoco che sono comparse a periodi fissi sopra differenti parti del globo, garantiscono la conclusione, che vi è una nebulosa, o che vi sono miriadi di corpi che girano in gruppi attorno al sole, che soltanto diventano visibili quando, entrati, s' infiammano nella nostra atmosfera.

Una di queste nebulose o gruppi nebulosi sembra incontrare la terra nella sua annua rivoluzione ai 12 e 13 di novembre.

La mattina del 12 novembre 1799 migliaia di stelle cadenti mescolate con larghe meteore illuminavano il cielo per molte ore sopra tutto il continente americano dal Brasile al Labrador: estendevansi fino alla Groenlandia ed anche alla Germania. Pioggie meteoriche furono vedute lungi dalle coste spagnuole e nelle contrade dell' Ohio la mattina del 13 novembre 1831; e per molte ore nella mattina del 13 novembre 1832 moltitudini prodigiose di stelle cadenti e di meteore caddero a Mocha sul mar Rosso, nell' Atlantico, nella Svizzera ed in molti luoghi dell' Inghilterra. Ma la pioggia meteorica di gran lunga più splendida che si ricordi, cominciò a 9 ore di sera il 12 novembre 1833, e durò sino al nascer del sole della seguente mattina. Essa si estendeva dal Niagara e dai laghi nordici americani fino al sud della Giamaica, e dal 61° di longitudine nell' Atlantico al 100° di longitudine nel

Messico centrale. Stelle cadenti e meteore della misura apparente di Giove, di Venere ed anche della Luna piena, slanciavansi a miriadi verso l'orizzonte, come se ogni stella del cielo fosse uscita dalle sue sfere. Esse sono state descritte come fossero così frequenti al pari dei fiocchi di neve in una nevosa procella, e sono state vedute con egual splendore sulla maggior parte del continente nord americano.

Coloro che furono testimoni di questo grande spettacolo, restarono maravigliati nel vedere che ognuno dei corpi luminosi, senza eccezione, si muoveva in una linea che convergeva in un punto del cielo: nessuno di loro usciva da quel punto; ma le loro direzioni, quando erano tracciate all'indietro, s'incontravano in esso come raggi in un foco, e la maniera della loro caduta dimostra ch'essi discendevano da essi in linee rette quasi parallele verso la terra.

La parte più straordinaria di tutto il fenomeno si è che questo punto raggiante fu veduto rimanersi stazionario vicino la stella γ del Leone per più di due ore e mezzo, il che prova che la sorgente della pioggia meteorica è del tutto indipendente dalla rotazione terrestre, e la parallasse di lei mostrava ch'era molto al di sopra dell'atmosfera.

Siccome un corpo non poteva essere realmente in riposo in quella posizione, il gruppo o la nebulosa deve ritrovarsi o intorno al sole, o intorno la terra. Se si fosse mossa intorno la terra, il corso delle meteore sarebbe stato tangenziale alla superficie terrestre, mentre le stelle cadevano perpendicolarmente, così che la terra nella sua annua rivoluzione deve essersi incontrata col gruppo. I corpi o le parti della nebulosa che erano le più vicine devono essere state attratte verso la terra per la sua gravità, e siccome furono stimate muoversi in ragione di 14 miglia per secondo, esse devono avere preso fuoco entrando nella nostra atmosfera ed essersi consunte nell'attraversarla.

Siccome tutte le circostanze dei fenomeni erano simili nello stesso giorno e durante le stesse ore nel 1832, e siccome straordinarie cadute di stelle cadenti erano vedute in molti luoghi in Europa ed in America il 13 novembre 1834, 1835, e 1836 tendenti pure da un punto fisso nella costellazione del Leone, si è congetturato con molta probabilità che questa nebulosa o gruppo di corpi compia la sua rivoluzione attorno il sole in un periodo di circa 182 giorni in un' orbita ellittica, il cui asse maggiore è 119 milioni di miglia, e che la distanza del suo afelio, dove viene in contatto con l' atmosfera terrestre, è di circa 95 milioni di miglia, o quasi la stessa distanza con la media terrestre dal sole. Questo corpo deve avere incontrato delle perturbazioni dopo il 1799, che gli impedirono di incontrare la terra per 32 anni, e può di nuovo deviare dal suo cammino per la stessa cagione.

Ora è ben accertato che le grandi pioggie di stelle cadenti occorrono pure il 12 agosto, il cui punto di divergenza è B del Camelopardo, così che l' atmosfera terrestre viene in contatto con una zona di questi piccoli corpi due volte all' anno. Per una serie sistematica di osservazioni, Benzenberg e Brand hanno chiaramente dimostrato che l' altezze alle quali le stelle cadenti compariscono e svaniscono, variano da 16 miglia a 140, e la loro velocità da 18 a 36 miglia in un secondo: velocità così grande da indicare certamente una rivoluzione planetaria attorno il sole. Ma siccome le stelle cadenti sono vedute quasi ogni notte, quando è chiaro il firmamento, Lubbock ha pensato essere probabile che alcuni di questi corpi possano arrivare così vicini che l' attrazione della terra superi quella del sole, e faccia ch' essi girino come satelliti intorno ad essa. Se questo fosse il caso, essi potrebbero risplendere di luce riflessa solare, e repentinamente cessare od essere visibili entrando nell' ombra della terra. Il dividersi delle stelle cadenti come un fuoco d' artificio, e gli strascichi di luce si potrebbero

spiegare, supponendo che le stelle rasentino la superficie dell' ombra prima che siano eclissate, e la scomparsa sarebbe più o meno rapida, secondo la larghezza della penombra attraversata. I calcoli di Petit, direttore dell' Osservatorio di Tolosa, non solo rendono probabile l' esistenza di piccoli satelliti, ma tendono a stabilire l' identità d' un corpo che gira attorno la terra in tre ore e 20 minuti a una distanza di 5000 miglia sopra la sua superficie. Egli è evidente che in questo caso il satellite istesso sarebbe spessissimo veduto, e pochissimi basterebbero a dar ragione della loro apparenza notturna. È nondimeno possibile che alcune stelle cadenti possano appartenere ad una classe, ed alcune ad un' altra, poichè un gruppo può girare attorno il sole ed un altro attorno la terra. Nel caso d' una stella satellite cadente, la geometria dà i mezzi di assicurarsi della sua esatta distanza dallo spettatore o dal centro della terra, se il tempo e il luogo della sua scomparsa è conosciuto per rispetto alle stelle vicine. Poichè le stelle cadenti sono dissipate nell' atmosfera, le loro masse devono esser piccole, ma è possibile che qualche volta alcuna possa essere grande abbastanza da arrivare alla superficie della terra come un aerolite.

SEZIONE XXXVII.

Diffusione della materia nello spazio — Gravitazione — Sua velocità — Semplicità delle sue leggi — Gravitazione indipendente dalla grandezza e dalla distanza dei corpi — Non è impedita dall' intervento di alcuna sostanza — Sua intensità invariabile — Leggi generali — Ricapitolazione e Conclusione.

La quantità di materia conosciuta ha una piccolissima proporzione coll' immensità dello spazio. Per quanto grandi siano i corpi, le distanze che li separano sono senza misura più grandi; ma siccome l' intento è manifesto in

ogni parte del creato, è probabile che se i vari sistemi nell'universo fossero più vicini l'uno all'altro, le loro reciproche perturbazioni non avrebbero potuto coesistere con l'armonia e la stabilità del tutto. È chiaro che lo spazio non è invaso dall'aria atmosferica colla densità di quella da noi respirata, poichè la resistenza di lei avrebbe già da un pezzo arrestato il movimento dei pianeti; certamente esso non è un vuoto, ma riempito dall'etere, probabilmente esso stesso elettrico o magnetico, ma ad ogni modo capace di trasmettere luce, calore, magnetismo, gravità, e capace probabilmente d'influenze di cui non possiamo farci un'idea.

Quali che possano essere le leggi che hanno vigore nelle più lontane regioni dell'universo, noi siamo certi che una sola regoli i moti, non tanto del nostro sistema che dei sistemi binarii delle stelle fisse; e siccome le leggi generali formano l'ultimo oggetto della filosofica investigazione, non possiamo por termine a queste osservazioni senza considerare la natura della gravitazione: quel potere straordinario, i cui effetti noi abbiamo tentato di tracciare a traverso di alcuni de' suoi laberinti. Fu una volta immaginato che l'acceleramento nel moto medio della Luna era prodotto dalla successiva trasmissione della forza di gravità. È stato provato che affine di produrre questo effetto la velocità di questa forza deve essere circa 50 milioni di volte maggiore che quella della luce che percorre lo spazio in ragione di 192,000 miglia in un secondo. La sua azione alla distanza ancora del Sole, può tuttavia essere considerata come istantanea; pure, per quanto siano remote le stelle fisse, la gravitazione solare deve avere qualche influenza sulla più vicina di loro, come per esempio l'α del Centuaro, che è solo 20,602 volte il raggio dell'orbita terrestre dal sole, mentre La Place ha calcolato che la solare gravitazione si estende a 100 milioni di volte più lontano che il semidiametro dell'orbita terrestre. È probabile che la polvere stellare

della Via Lattea possa essere al di là, o sopra un confine più lontano di questo; però è inverisimilissimo che o il sole o alcuna delle stelle che formano il gran gruppo al quale appartengono, siano corpi non connessi.

Le curve nelle quali i corpi celesti si muovono per la forza di gravitazione, sono soltanto linee di secondo ordine. L'attrazione degli sferoidi, secondo ogni altra legge di forza diversa da quella di gravitazione, sarebbe molto più complicata; e siccome è facile provare che la materia poteva esser mossa secondo un'infinita varietà di leggi, si può concludere chè la gravitazione sia stata scelta dalla sapienza divina fra una infinità di altre, siccome quella ch'è la più semplice, e quella che dà la massima stabilità ai moti celesti.

Egli è un singolare risultato della semplicità delle leggi della natura che comportano solo l'osservazione ed il paragone dei rapporti, che la gravitazione, e la teoria de' moti dei corpi celesti sono indipendenti dalle loro assolute distanze e grandezze. Per conseguenza, se tutti i corpi del sistema solare, le loro mutue distanze e le loro velocità diminuissero proporzionalmente, essi descriverebbero curve sotto tutti i rispetti simili a quelle nelle quali ora si muovono, ed il sistema potrebbe essere successivamente ridotto alle dimensioni sensibili le più piccole, e presenterebbe ancora gli stessi fenomeni.

L' azione della forza di gravitazione non è impedita dall' intervento delle sostanze le più dense ancora. Se l' attrazione del sole pel centro della terra e dell' emisfero diametralmente opposto, fosse diminuita dalla difficoltà di penetrare attraverso l' interposta materia, le maree ne sentirebbero l' effetto più che d' ordinario. L' attrazione del sole ancora è la stessa, qualunque possano essere le sostanze dei corpi celesti; perocchè se l' azione del sole sopra la terra differisse d' una milionesima parte dalla sua azione sopra la luna, la differenza produrrebbe una periodica variazione nella parallasse lunare, il

cui massimo sarebbe $\frac{1}{11}$ d'un secondo, ed una variazione ancóra nella longitudine di essa che ammonterebbe a parecchi secondi: supposizione provata essere impossibile per la concordia fra la teoria e l'osservazione. Così ogni materia è pervia alla gravitazione, ed è egualmente attratta per mezzo di lei.

La gravitazione è una forza debole, inferiore di molto all'azione elettrica, alla chimica affinità e alla coesione; nondimeno, per quanto si estenda l'umano sapere, l'intensità della gravitazione non è mai variata nei limiti del solare sistema: neppure l'analogia ci conduce ad aspettarci che lo sarebbe: al contrario vi è ogni ragione di essere certi che le grandi leggi dell'universo sono immutabili come il loro Autore. Nè noi possiamo supporre la struttura del globo solo sia esente dal *fiat* universale delle leggi generali, sebbene dei secoli possano scorrere prima che i cambiamenti da essa sofferti, o presentemente in progresso, possano essere riferiti a cause esistenti, colla certezza stessa che i moti dei pianeti e tutte le loro periodiche e secolari variazioni sono riferibili alla legge di gravitazione. Le tracce di estrema antichità che di continuo occorrono al geologo danno quella certezza, rispetto l'origine delle cose, che si cerca invano nelle altre parti dell'universo. Esse danno la data del principio del tempo rispetto al nostro sistema; poichè vi è fondamento per credere che la formazione della terra fu contemporanea con quella del resto dei pianeti: ma esse dimostrano che il creato è l'opera di Colui « pel quale mille anni sono come un giorno, ed un giorno come mille anni. »

Nel presente lavoro, portato ora ad una conclusione, è stato necessario scegliere dall'intero cerchio delle scienze pochi de' più ovvii di quegli anelli immediati che le connettono insieme, e tacere d'innumerevoli casi di connessione sì evidente che occulta. Ogni ramo tracciato per le sue diramazioni avrebbe occupato un volume: si spera

nondimeno che la veduta qui presentata basterà a formare una dimostrazione dell' estensione alla quale il riflesso di reciproca influenza di pochi ancora di questi soggetti, può in ultimo condurre. Così si vede che la teoria della dinamica fondata sui fenomeni terrestri è indispensabile per acquistare una cognizione delle rivoluzioni dei corpi celesti e delle loro reciproche influenze. I movimenti dei satelliti sono modificati dalle forme de' loro primarii, e le figure dei pianeti stessi dipendono dalle respettive rotazioni. La simmetria della loro interna struttura, prova la stabilità di questi movimenti rotatorii e la immutabilità della lunghezza del giorno, il che somministra un campione invariabile del tempo; e la reale grandezza della sferoide terrestre somministra i mezzi di accertare le dimensioni del sistema solare, e dà un fondamento invariabile per un sistema di pesi e misure. La mutua attrazione dei corpi celesti perturba i fluidi alla loro superficie, donde la teoria delle maree e delle oscillazioni atmosferiche. La densità e l'elasticità dell' aria, variando con ogni alterazione di temperatura, conduce alla considerazione dei cambiamenti barometrici, della misura delle altezze e dell' attrazione capillare; e la dottrina del suono, racchiudendo la teoria della musica, si deve riferire alle piccole ondulazioni del mezzo aereo. Una cognizione dell' azione della materia sopra la luce è richiesta per tracciare il curvo cammino de' raggi suoi a traverso l' atmosfera, per i quali le vere posizioni degli oggetti distanti sono determinati o sia ne' cieli, o sia sulla terra. Per questi noi impariamo a conoscere la natura e la proprietà dei raggi solari, il modo della loro propagazione pel fluido etereo, o nell' interno dei corpi materiali, e l' origine del colore. Per mezzo dell' eclissi dei satelliti di Giove è accertata la velocità della luce, e questa velocità coll' aberrazione delle stelle fisse, somministra una prova diretta del movimento reale della terra (N. 237). Gli effetti dei raggi invisibili dello spettro sono immediata-

mente connessi con la chimica azione, ed il calorico che forma una parte del raggio solare così essenziale all'esistenza animata e non animata, è un agente troppo importante nell' economia del creato per non tenere un luogo principale nella connessione delle scienze fisiche: donde segue la sua distribuzione nell' interno e nella superficie del globo, il potere suo sulle geologiche convulsioni del nostro pianeta, la sua influenza sull' atmosfera, e sopra i climi, ed i suoi effetti sulla vita vegetale ed animale, dimostrati nella distribuzione degli esseri organizzati sulla terra, nell'acque, e nell'aria. La correlazione tra l'azione molecolare e chimica, la luce, il calore, l'elettricità ed il magnetismo, è per divenire continuamente più perfetta, e vi è ogni ragione di credere che questi differenti modi di forza, come la gravità istessa, alla fine riuscirà in una grande forza universale. Molti più esempi della connessione immediata possono darsi ad illustrazione delle scienze fisiche; la maggior parte delle quali sono anche più strettamente unite pel comune legame dell' analisi che giornalmente estende il suo impero, ed abbraccerà in ultimo ogni soggetto naturale colle sue formole.

Queste formole, emblematiche dell' Onniscienza, condensano in pochi simboli le leggi immutabili dell' universo. Questo potente strumento del potere stesso dell' uomo, deriva originalmente dalla primitiva costituzione della mente umana, e si riposa sopra pochi fondamentali assiomi, che sono esistiti ab eterno in Colui che li piantò nell' anima dell' uomo quando l' ebbe creato a sua somiglianza.

NOTE.

Nota 1, pag. 2. *Diametro.* — È una linea retta che passa pel centro, e termina all'una e l'altra parte ai lati o superficie d'una figura, come d'un cerchio o d'una sfera. Nella fig. 1, q Q, N S, sono diametri.

Nota 2, pag. 3. *Scienze matematiche e meccaniche.* — Le matematiche insegnano le leggi dei numeri e delle quantità; le meccaniche trattano dell'equilibrio e del moto dei corpi.

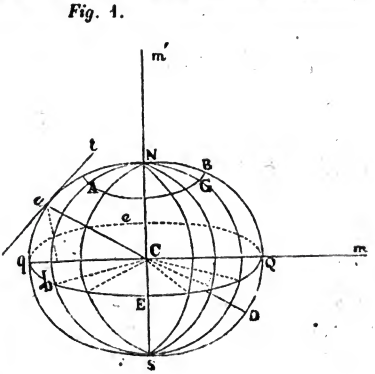
Nota 3, pag. 3. *Analisi.* — Essa è una serie di ragionamenti condotti col mezzo di segni o simboli delle quantità, le cui relazioni formano il soggetto della ricerca.

Nota 4, pag. 4. *Oscillazioni.* — Sono movimenti in avanti e indietro, come il va e vieni d'un pendolo d'orologio o dell'onde dell'acqua. Le maree sono oscillazioni del mare.

Nota 5, pag. 4. *Gravitazione.* — La *gravità* è la reciproca attrazione della materia sulla materia; la *gravitazione* è la differenza tra la gravità e la forza centrifuga prodotta dalla celerità della rotazione o rivoluzione. La gravità sensibile o il peso è un particolare esempio di gravitazione. È la forza che fa che le sostanze cadano alla superficie della terra, e che ritiene i corpi celesti nelle loro orbite. La sua intensità cresce in ragione inversa dei quadrati delle distanze, cioè in ragione che i quadrati delle distanze decrescono.

Nota 6, pag. 5. *Particelle della materia.* — Sono gli atomi indefinitamente piccoli o ultimi, nei quali si crede dividersi la materia. La loro forma non si conosce, ma sebbene sieno troppo piccoli per essere veduti, essi devono avere una grandezza.

Fig. 1.



Nota 7, pag. 5. *Una sfera vuota.* — Un pallone vuoto come una bomba. Una sfera è una palla o corpo solido tale che tutte le linee tirate dal centro alla superficie sono eguali. Queste linee sono chiamate raggi, ed ogni linea che passa pel centro e termina ai due lati alla superficie è

un diametro, che per conseguenza è eguale al doppio del raggio. Nella fig. 3, Q *q* o N S sono diametri, e C Q, C N sono raggi. Un gran cerchio della sfera ha l'istesso centro della sfera come i cerchi Q E *qd* e Q N *q* S. Il cerchio A B è un cerchio minore della sfera.

Nota 8, pag. 5. *Sfere vuote concentriche.* — I gusci o le sfere vuote che hanno lo stesso centro come le bucce delle cipolle.

Nota 9, pag. 5. *Sferoide.* — Un corpo solido che qualche volta ha la figura d'un arancio come nella fig. 1; egli vien detto una sferoide cipollare, perchè appiattito ai poli N ed S. Tale è la forma della terra e dei pianeti.

Fig. 2.

Se al contrario è allungato ai poli simile ad un uovo, come nella fig. 2, è detto una sferoide allungata. Egli è evidente che in queste due sferoidi i raggi C *q*, C *a*, C N, ec. sono generalmente disuguali; dove nella sfera sono tutti eguali.

Nota 10, pag. 5. *Centro di gravità.* È un punto in ogni corpo, che se venga sostenuto, il corpo rimane in riposo in qualunque posizione egli possa essere situato. Intorno questo punto tutte le parti si bilanciano esattamente l'una l'altra. I corpi celesti si attraggono reciprocamente come se ciascuno fosse condensato in una sola particella situata nel centro di gravità; ovvero la particella situata nel centro di gravità di ciascuno può essere riguardata come posseditrice del potere risultante dalle innumerabili forze oblique che costituiscono l'intiera attrazione del corpo.

Nota 11, pag. 5, *Poli ed equatore.* — La fig. 1 o 3 rappresenta la terra: C il suo centro, N C S l'asse di rotazione o la linea imaginaria attorno la quale essa compie la sua giornaliera rivoluzione. Allora N ed S sono i poli nord e sud; e il grande cerchio *q* E Q, che divide la terra in due parti eguali, è l'equatore. La terra è piatta ai poli, fig. 1, il diametro equatoriale *q* Q, sorpassa il diametro polare N S di circa 26 1/2 miglia. I cerchi minori A B G, che sono paralleli all'equatore, sono cerchi minori o paralleli di latitudine la quale è stimata in gradi, minuti e secondi, al nord e al sud dell'equatore; ogni luogo nello stesso parallelo avendo la stessa latitudine. Greenwich è nel parallelo di 51° 20′ 40″. Così la latitudine terrestre è la distanza angolare tra la direzione d'una normale ad un luogo e il piano dell'equatore. Linee tali come N Q S, N G E S,

Fig. 3.

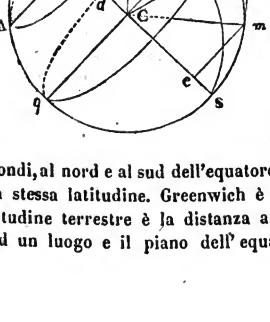


fig. 3, sono chiamate meridiani: tutti i luoghi in una di queste linee hanno il mezzodì nell'istante istesso. Il meridiano di Greenwich è stato scelto in Inghilterra come origine della longitudine terrestre, che si stima in gradi, minuti e secondi, all' est e ovest di questa linea. Se N G E S fosse il meridiano di Greenwich, la posizione di un qualsiasi luogo, B, è determinata, se la sua latitudine Q C B e la sua longitudine E C Q sono conosciute.

Nota 12, pag. 6. *Quantità medie.* — Sono quelle che sono intermedie tra altre maggiori e minori. La media d'un numero di quantità disuguali è eguale alla loro somma divisa pel numero loro. Per esempio, la media tra due quantità disuguali è eguale alla metà della loro somma.

Nota 13, pag. 6. *Una certa latitudine media.* — L'attrazione d'una sfera sopra un corpo esterno è la stessa come se la massa di lei fosse raccolta in una particella pesante nel suo centro di gravità, e l'intensità della sua attrazione diminuisce come cresce il quadrato della sua distanza dal corpo esterno. Ma l'attrazione d'una sferoide, fig. 1, sopra un corpo esterno in *m* nel piano del suo equatore E Q è maggiore, e la sua attrazione sull'istesso corpo quando è in *m'* nell'asse N S è minore di quello che se fosse una sfera. Per questo, nell'uno e nell'altro caso la forza devia dalla esatta legge di gravità. Questa deviazione deriva dalla protuberanza della materia all'equatore; e siccome essa diminuisce verso i poli, così agisce sulla forza attrattiva della sferoide. Ma vi è una latitudine media, dove l'attrazione d'una sferoide è la stessa come se fosse una sfera. Essa è un punto della sferoide intermedio tra l'equatore e il polo. In questa latitudine il quadrato del seno è eguale al terzo del raggio equatoriale.

Nota 14, pag. 6. *Distanza media.* — La distanza media di un pianeta dal centro del sole, o d'un satellite dal centro del suo pianeta, è eguale alla metà della somma della sua massima e minima distanza, e per conseguenza, alla metà dell'asse maggiore dell'orbita sua. Per esempio, sia P Q D A, fig. 6, l'orbita della luna o d'un pianeta; allora P A è l'asse maggiore, C il centro, e C S eguale a C F. Ora, poichè la terra o il sole è supposto essere nel punto S secondo che P D A Q è riguardata come l'orbita della luna o del pianeta, S A, S P sono le distanze massima e minima. Ma la metà della somma di S A e di S P è eguale alla metà di A P, l'asse maggiore dell'orbita. Quando il corpo è in Q o in D, egli è alla sua distanza media da S, perchè S Q, S D sono ciascuno eguale a C P, metà dell'asse maggiore per la natura della curva.

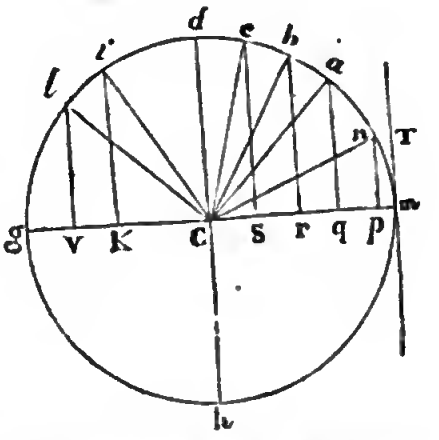
Nota 15, pag. 6. *Raggio medio della terra.* — È la distanza dal centro alla superficie della terra, riguardata come una sfera. È intermedia tra la distanza del centro della terra, dal polo e dall'equatore.

Nota 16, pag. 6. *Ragione.* — La relazione che una quantità ha con un'altra.

Nota 17, pag. 6. *Quadrato della distanza della luna.* — Per evitare numeri grandi, il raggio medio della terra è preso per unità: allora la distanza media della luna è espressa per 60; ed il quadrato di questo numero è 3,600, ovvero 60 volte 60.

Nota 18, pag. 6. *Forza centrifuga.* — È la forza colla quale un corpo in rivoluzione tende di fuggire dal centro del moto: la fionda tende a fuggire dalla mano in conseguenza della forza centrifuga. La tangente è una linea retta che tocca una linea curva in un punto senza tagliarla come *m* T nella fig. 4. La direzione della forza centrifuga è secondo la tangente alla linea curva o al cammino nel quale il corpo gira, e la sua intensità cresce con la spinta angolare del corpo e con la sua distanza dal centro del movimento. Siccome l' orbita della luna non differisce molto dalla circonferenza, sia ella rappresentata per *m d g h*, fig. 4, essendo la terra in C. La forza centrifuga che deriva dalla velocità della luna nella sua orbita bilancia l' attrazione della terra. Per la loro azione congiunta, la luna muovesi per l' arco *m n* durante il tempo ch' ella scapperebbe via per la tangente *m* T per l' azione della sola forza centrifuga o cadrebbe per *m p* per la sola attrazione della terra. T *n*, distanza dalla tangente, è parallelo ed eguale ad *m p*, seno dell' arco *m n*, che si suppone essere percorso dalla luna in un secondo, e per questa ragione così piccolo che può essere riguardato come una retta. T *n* o *m p* è lo spazio che la luna percorrerebbe cadendo nel primo secondo verso la terra, se ella non fosse ritenuta nella sua orbita dalla sua forza centrifuga.

Fig. 4.



Nota 19, pag. 6. *Azione e reazione.* — Quando il moto è comunicato per l' urto o per la pressione, l' azione del corpo che colpisce è corrisposta con una forza eguale dal corpo che riceve il colpo. La pressione di una mano sopra una tavola è resistita da una forza eguale contraria. Questo accade necessariamente per l' impenetrabilità della materia, proprietà per la quale due particelle di materia non possono occupare l' istessa identica porzione di spazio al tempo istesso. Quando il moto è comunicato senza contatto apparente come nella gravitazione, attrazione e repulsione, la quantità di moto guadagnata dall' un corpo è esattamente eguale a quella perduta dall' altro, ma in direzione contraria; circostanza conosciuta per la sola esperienza.

Nota 20, pag. 6. *Proiettato.* — Un corpo è proiettato quando è scagliato: una palla tirata da un cannone è proiettata: si chiama per questo un proiettile. Ma la parola ha pure un altro significato. Una linea, una superficie, un corpo solido vien detto proiettato sopra un piano, quando

delle linee rette parallele sono tirate da ogni punto di quello sul piano. La figura così tracciata sopra il piano è una proiezione. La proiezione d' un oggetto terrestre è per questa ragione la sua ombra giornaliera; poichè i raggi solari sono sensibilmente paralleli.

Nota 21, pag. 6. *Spazio.* — La regione senza confini che contiene tutto il creato.

Nota 22, pag. 6. — *Sezioni coniche.* — Linee formate da un piano che taglia un cono. Un cono è una figura solida, simile ad un pan di

Fig. 5.

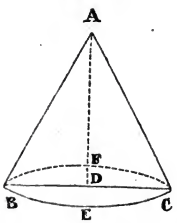
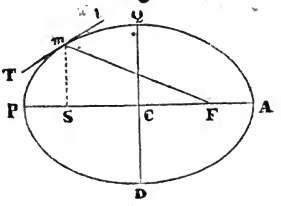


Fig. 6.



zucchero, fig. 5, del quale A è il vertice, A D l' asse, ed il piano B E C F la base. L' asse può essere perpendicolare o no alla base, e questa può essere una circonferenza od altra linea curva. Se l' asse è perpendicolare alla base, il solido è un cono retto. Se un cono retto con base circolare viene tagliato ad angoli retti alla base per mezzo di un piano che passi per l'apice, la sezione sarà un triangolo. Se il cono sia tagliato per i due

Fig. 7.

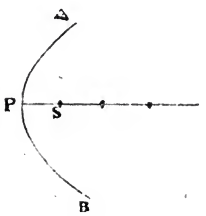
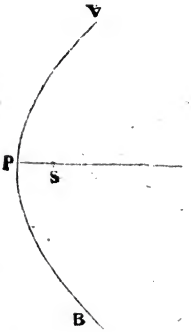


Fig. 8.



lati da un piano parallelo alla base, la sezione sarà un cerchio. Se il cono sia tagliato obliquamente per i due lati, la sezione sarà un' ellissi, fig. 6. Se

il cono sia tagliato parallelamente all'uno dei lati obliqui come A B, la sezione sarà una parabola, fig. 7. E se il piano taglia solo un lato del cono, la sezione sarà un'iperbole, fig. 8. Così vi sono cinque sezioni coniche.

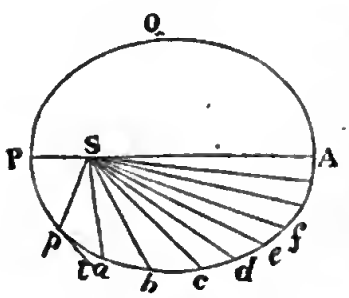
Nota 23, pag. 6. *Quadrato inverso delle distanze.* — L'attrazione di un corpo per un altro alla distanza di due miglia è quattro volte minore che alla distanza di uno: a tre miglia è nove volte minore che ad uno: a quattro miglia è sedici, e così via via. Cioè, la forza di gravitazione decresce in intensità come cresce il quadrato delle distanze.

Nota 24, pag 6. *Ellisse.* — Una delle sezioni coniche, fig. 6. Una ellisse può essere formata fissando i capi d'una corda ai punti S e F sopra un foglio di carta e quindi conducendo la punta d'un pennello attorno nell'apertura della corda tenuta tesa, essendo la lunghezza della corda maggiore della distanza tra i due punti S F. Questi punti S F sono chiamati fochi, C il centro, S C o C F l'eccentricità, A P l'asse maggiore, Q D l'asse minore, e P S la distanza focale. È evidente che minore è l'eccentricità C S, maggiormente l'ellisse si accosta al cerchio, e dalla costruzione è evidente che la lunghezza della corda S *m* F è eguale all'asse maggiore P A. Se T *t* è una tangente all'ellisse in *m*, allora l'angolo T *m* S è eguale all'angolo *t m* F, e siccome questo è vero per ogni punto dell'ellisse, ne segue che in una superficie ellittica riflettente, i raggi della luce o del suono, derivanti da un foco S, saranno riflessi dalla superficie all'altro foco F; poichè l'angolo d'incidenza è eguale all'angolo di riflessione per le teorie della luce e del suono.

Nota 25, pag. 7. *Tempo periodico.* — Tempo nel quale un pianeta od una cometa compie una rivoluzione attorno al sole, od un satellite attorno al suo pianeta.

Nota 26, pag. 7. — Keplero scoprì tre leggi nei moti planetari, per le quali è stabilito il principio della gravitazione. 1ª legge: che i raggi vettori dei pianeti e delle comete descrivono aree proporzionali al tempo. Sia la fig. 9 l'orbita d'un pianeta: allora, supponendo gli spazi o l'aree P S *p*, *p* S *a*, *a* S *b*, ec. eguali le une alle altre, il raggio vettore S P, il quale è la linea che unisce i centri del sole e del pianeta, percorre questi spazi eguali in tempi eguali; cioè se la linea S P passa in S *p* in un giorno, essa arriverà ad S *a* in due giorni, ad S *b* in tre giorni, e via discorrendo. 2ª legge: che le orbite ed il cammino dei pianeti o delle comete sono sezioni coniche che hanno il sole in uno dei loro fochi. Le orbite dei pianeti e dei satelliti sono curve come la fig. 6 o 9, chiamate ellissi, che hanno il sole nel foco S. Si conosce che molte comete muovonsi in ellissi; ma la maggior parte sembra moversi in parabole, fig. 7, che hanno il sole in S, sebbene

Fig. 9.



sia probabile che esse realmente si muovano in ellissi lungamente appiattite; altre compariscono moversi in iperbole, come alla fig. 8. La 3ª legge si è che i quadrati dei tempi periodici dei pianeti sono proporzionali ai cubi delle loro medie distanze dal Sole. Il quadrato d' un numero è il numero stesso moltiplicato per sè stesso; ed il cubo di un numero è il numero stesso moltiplicato due volte per sè stesso. I quadrati dei numeri 2, 3, 4, ec. sono 4, 9, 16 ec.; ma i loro cubi saranno 8, 27, 64 ec. Quindi i quadrati dei numeri rappresentanti i tempi periodici di due pianeti sono l'uno all' altro come i cubi dei numeri rappresentanti le loro medie distanze dal sole; così che tre di queste quantità essendo note, l'altra può ritrovarsi colla regola del tre. Le distanze medie sono misurate in miglia o in raggi terrestri, e i tempi periodici sono calcolati in anni, giorni e parti di giorno. Le leggi keplerïane si estendono ai satelliti.

Nota 27, pag. 7. *Massa.* — La quantità di materia in un dato volume, è proporzionale alla densità e al volume insieme.

Nota 28, pag. 7. *Gravitazione proporzionale alla massa.* — Se non fosse la resistenza dell' aria, tutti i corpi cadrebbero sulla terra in tempi eguali. Infatti cento particelle di materia ad eguali distanze dalla superficie della terra cadrebbero in linee parallele con egual rapidità; e nessun cangiamento avrebbe luogo nelle circostanze della loro discesa, se 99 di esse si unissero in una solida massa, perchè la massa solida e la unica particella toccherebbero il terreno all' istante stesso, se non fosse la resistenza dell' aria.

Nota 29, pag. 7. — *Primario* significa in astronomia il pianeta intorno al quale gira un satellite. La terra è primario della luna.

Nota 30, pag. 8. *Rotazione.* — Moto attorno ad un asse reale o immaginario.

Nota 31, pag. 8. *Compressione d' una sferoide.* — Lo schiacciamento ai poli. Esso è eguale alla differenza tra i diametri maggiore e minore, divisa pel maggiore; queste quantità essendo espresse in misure tipiche, come miglia.

Nota 32, pag. 9. *Satelliti.* — Corpi piccoli che girano attorno alcuni pianeti. La luna è satellite della terra.

Nota 33, pag. 9. *Nutazione.* — Un moto di tentennamento nell' asse della terra, mentre è in rotazione, simile a quello di una trottola quando gira. Esso è prodotto dall' attrazione del sole e della luna sulla protuberante materia all' equatore terrestre.

Nota 34, pag. 9. *Asse di rotazione.* — La linea reale o imaginaria attorno la quale gira un corpo. L' asse di rotazione della terra è quel diametro o linea imaginaria che passa pel centro e per i poli. La fig. 1 essendo la terra, N S è l' asse di rotazione.

Nota 35, pag. 9. *Nutazione dell' orbita lunare.* — L' azione della materia protuberante all' equatore terrestre sulla luna dà occasione ad

una variazione nell' inclinazione dell' orbita lunare al piano dell' eclittica. Si supponga il piano N *p n*, fig. 13, sia l' orbita della luna ed N *m n* il piano dell' eclittica, l' azione della terra sulla luna fa che l' angolo *p* N *m* diventi minore o maggiore che il suo stato medio. La nutazione nell' orbita lunare è la reazione della nutazione dell' asse terrestre.

Nota 36, pag. 9. *Trasportato.* — Portato in avanti nello spazio.

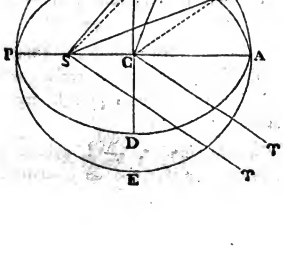
Nota 37, pag. 9. *Forza proporzionale alla velocità.* — Poichè una forza è misurata pel suo effetto, i movimenti dei corpi del sistema solare tra di loro sarebbero gli stessi, se il sistema fosse o no in riposo. Il moto reale d' una persona che cammina sulla coperta d' un naviglio in mare è composto del suo proprio moto e di quello del naviglio; nondimeno l' uno ha luogo indipendentemente dall' altro. Noi camminiamo come se la terra fosse in riposo, sebbene essa abbia il doppio moto di rotazione sull' asse proprio e di rivoluzione attorno al sole.

Nota 38, pag. 10. *Tangente.* — Una linea retta che tocca una curva in un punto senza tagliarla. Nella fig. 4, *m* T è tangente alla curva nel punto *m*. In un cerchio la tangente è ad angolo retto al raggio C *m*.

Nota 39, pag. 10. *Movimento secondo un' orbita ellittica.*—Un pianeta *m*, fig. 6, si muove attorno al sole in S per un ellisse P D A Q in conseguenza di due forze, una spingendolo nella direzione della tangente *m* T, ed un' altra mandandolo verso il sole nella direzione *m* S. La sua velocità che è la massima in P, decresce per l' arco P D A ad A, dove è la minima, e cresce continuamente come esso si move lungo l' arco A Q P sino che arriva di nuovo a P. L' intera forza che produce il moto ellittico varia inversamente come il quadrato della distanza. Vedi la nota 23.

Nota 40, pag. 10. *Raggi vettori.* — Linee imaginarie che congiungono il centro del sole ed il centro d' un pianeta o d' una cometa, o i centri d' un pianeta e del suo satellite. Nel cerchio i raggi sono tutti eguali: ma nell' ellisse, fig. 6, il raggio vettore S A è maggiore, ed S P minore degli altri. I raggi vettori S Q, S D sono eguali a C A o C P, la metà dell'asse maggiore P A, e conseguentemente eguali alla distanza media. Un pianeta è alla sua distanza media dal sole, quando è nei punti Q e D.

Fig. 10.



Nota 41, pag. 10. *Aree eguali in tempi eguali.* — Vedi la 1ª legge di Keplero nella nota 26.

Nota 42, pag. 11. *Asse maggiore.* — La linea P A, fig. 6 o 10.

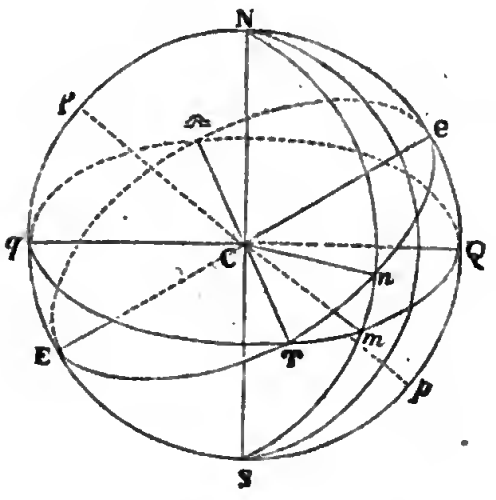
Nota 43, pag. 11. *Se il pianeta descrive un cerchio.* — Il movimento d' un pianeta intorno al sole, in un cerchio A B P, fig. 10, il cui raggio C A è eguale alla distanza media del pianeta da lui, sarebbe uniforme, cioè la

sua velocità o speditezza sarebbe sempre la stessa. Dove che se si muove nell' ellisse A Q P, la sua velocità sarebbe continuamente variata secondo la nota 39; ma il suo moto è tale che il tempo che scorre tra la sua partenza da P ed il suo ritorno a questo punto sarebbe lo stesso se egli si movesse nel cerchio o nell' ellisse; perchè queste curve coincidono nei punti P ed A.

Nota 44, pag. 11. *Moto vero.* — Il moto d' un corpo nella sua orbita reale P D A Q, fig. 10.

Nota 45, pag. 11. *Moto medio.* — Moto uniforme in un cerchio P E A B, fig. 10, alla distanza media C P o C *m*, nel tempo che il corpo compirebbe una rivoluzione nella sua orbita ellittica P D A Q.

Fig. 11.



Nota 46, pag. 11. *L' equinozio.* — La fig. 11 rappresenta la sfera celeste, e C il centro suo, dove si suppone sia la terra. *q* ♈ Q ♎ è il cerchio grande o equinoziale, tracciato nei cieli stellati per l'imaginaria estensione del piano dell' equatore terrestre ed E ♈ *e* ♎ è l' eclittica od apparente cammino del sole attorno la terra. ♈ ♎ l' intersezione di questi due piani è la linea degli equinozi. ♈ l' equinozio di primavera, e ♎ quello d' autunno. Quando il sole è in questi punti, i giorni e le notti sono eguali. I detti punti sono distanti l' uno dall' altro d' un semicerchio o due angoli retti. Il punto E ed *e* sono i solstizi, dove il sole è alla massima sua distanza dal cerchio equinoziale. Questo si ritrova da per tutto distante 90 gradi dai suoi poli N e S, i quali sono due punti diametralmente opposti l' uno all' altro, dove l' asse di rotazione della terra, se fosse prolungato, incontrerebbe il cielo. Il polo celeste settentrionale N è ad 1° 24′ dalla stella polare. Siccome la latitudine di un luogo sulla superficie della terra è eguale all' altezza del polo sull' orizzonte, facilmente essa viene determinata dall' osservazione. L' eclittica E ♈ *e* ♎ è ancora da per tutto 90° distante dai suoi poli P e *p*. L' angolo P C N tra i poli P ed N dell' equinoziale e dell' eclittica, è uguale all' angolo *e* C Q chiamato l' obliquità dell' eclittica.

Nota 47, pag. 11. *Longitudine.* — L' equinozio di primavera ♈, fig. 11, è il punto zero nel cielo, donde le longitudini celesti, ossiano i moti angolari dei corpi celesti, sono calcolati dall' occidente all' oriente, direzione nella quale tutti girano. L' equinozio di primavera è generalmente chia-

mato il primo punto dell' ariete, sebbene questi due punti non coincidano sino dalle prime epoche dell' astronomia, circa 2,233 anni fa, a motivo d' un moto dei punti equinoziali, da spiegarsi in appresso. Se S ♈, fig. 10, sia la linea equinoziale, ed ♈ l' equinozio di primavera, la longitudine vera d' un pianeta *p* è l' angolo ♈ S *p*, e la sua longitudine media è l' angolo ♈ C *m*, essendo il sole in S. La longitudine celeste è la distanza angolare d' un corpo celeste dall' equinozio di primavera; dove la terrestre longitudine è la distanza angolare d' un luogo sulla superficie della terra da un meridiano scelto arbitrariamente come quello di Greenwich.

Nota 48, pag. 11. *Eqùazione del centro.* — È la differenza tra ♈ C *m*, ed ♈ S *p*, fig. 10; cioè la differenza tra la vera e la media longitudine di un pianeta o satellite. La posizione vera e media coincidono solamente nei punti P ed A; in ogni altro punto dell' orbita, il luogo vero è o prima o dopo il luogo medio. Nel muoversi da A per l' arco A Q P, la posizione vera *p* è dietro quella media *m*, e per l' arco P D A la posizione vera è davanti la posizione media. Al suo massimo, l' equazione del centro misura C S, l' eccentricità dell' orbita, poichè essa è la differenza tra il moto di un corpo per un' ellisse ed un cerchio, il cui diametro A P è l' asse maggiore dell' ellisse.

Nota 49, pag. 11. *Apsidi.* — I punti P ed A, fig. 10, all' estremità dell' asse maggiore di un' orbita. P è comunemente detto il perielio, parola greca significante *attorno al sole*, e il punto A è chiamato l' afelio, parola greca significante *lontano dal sole*.

Nota 50, pag. 11. *Novanta gradi.* — Un cerchio è diviso in 360 parti eguali o gradi: ogni grado in 60 parti eguali, chiamate minuti; ed ogni minuto in 60 parti eguali chiamate secondi. Si usa scrivere queste quantità così: 15° 16′ 10″, che diconsi 15 gradi, 16 minuti, 10 secondi. È chiaro che un arco *m n*, fig. 4, misura l' angolo *m* C *n*; quindi possiamo dire un arco di tanti gradi o un angolo di altrettanti gradi; perchè se vi sono 10 gradi nell' angolo *m* C *n*, vi saranno 10 gradi nell' arco *m n*. È chiaro che vi sono 90° in un angolo retto *m* C o quadrante, poichè egli è la quarta parte di 360°.

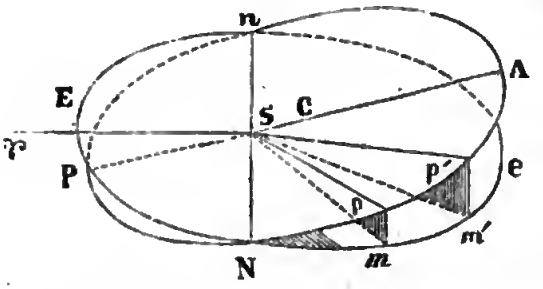
Nota 51, pag. 11. *Quadratura.* — Un corpo celeste si dice essere in quadratura, quando egli è 90° distante dal sole. Per esempio, nella fig. 14, se *d* è il sole, S la terra e *p* la luna, allora questa è detta essere in quadratura, quando essa sia o nel punto Q o D a motivo che essi angoli Q S *d* e D S *d* che misurano la sua apparente distanza dal sole, sono angoli retti.

Nota 52, pag. 11. *Eccentricità.* — La deviazione dalla forma circolare. Nella fig. 6, C S è l' eccentricità dell' orbita P Q A D. Quanto è minore C S, tanto più da vicino l' orbita o l' ellisse si accosta alla forma circolare; e quando C S è zero, l' ellissi diventa un cerchio.

Nota 53, pag. 11. *Inclinazione d' un' orbita.* — Sia S, fig. 12, il centro

del sole, P N A *n* l'orbita d'un pianeta che si muove dall'ovest all'est nella direzione N *p*. Sia E N *m e n* l'ombra o la proiezione dell'orbita sul piano dell'eclittica, allora N S *n* è l'interszione di questi due piani, perchè l'orbita s'innalza sopra il piano dell'eclittica verso N *p* e si abbassa sotto la stessa N P. L'angolo *p* N *m* che fanno questi due piani l'uno con l'altro, è l'inclinazione dell'orbita P N *p* A al piano dell'eclittica.

Fig. 12.



Nota 54, pag. 12. *Latitudine d'un pianeta.* — L'angolo *p S m*, fig. 12, o l'altezza d'un pianeta *p* sulla eclittica E N *m*. In questo caso la latitudine è settentrionale. Così la latitudine celeste è la distanza angolare d'un corpo celeste dal piano dell'eclittica, mentre la latitudine terrestre è la distanza angolare d'un luogo sulla superficie della terra dall'equatore.

Nota 55, pag. 12. *Nodi.* — I due punti N ed *n*, fig. 12, nei quali l'orbita N A *n* P d'un pianeta o d'una cometa interseca il piano dell'eclittica *e* N E *n*. La parte N A *n* dell'orbita giace sopra il piano dell'eclittica, e la parte *n* P N al di sotto. Il nodo ascendente N è il punto pel quale il corpo passa inalzandosi sopra il piano dell'eclittica e il nodo discendente *n* è il punto nel quale il corpo va al di sotto. I nodi dell'orbita di un satellite sono i punti nei quali ella interseca il piano dell'orbita del pianeta.

Nota 56, pag. 12. *Distanza dal sole.* — S *p* nella fig. 12. Se ♈ è l'equinozio di primavera, allora ♈ S *p* è la longitudine del pianeta *p*, la sua latitudine è *m* S *p* ed S *p* la sua distanza dal sole. Quando queste tre quantità sono note, la posizione del pianeta *p* è determinata nello spazio.

Nota 57, pag. 12. *Elementi di un'orbita.* — Questi sono sette. Sia P N A *n*, fig. 12, l'orbita ellittica d'un pianeta, C il suo centro, S il sole in uno dei fochi, ♈ il punto d'ariete ed E N *e n* il piano dell'eclittica. Gli elementi sono — l'asse maggiore A P, l'eccentricità C S, il tempo periodico, cioè il tempo d'una completa rivoluzione del corpo nella sua orbita; ed il quarto è la sua longitudine in un dato istante, per esempio quello in cui egli passa per il perielio P, il punto della sua orbita più vicino al sole. Questo istante vien preso come l'origine del tempo donde viene calcolato ogni periodo precedente e successivo. Queste quattro quantità sono sufficienti a determinare la forma dell'orbita ed il movimento del corpo in essa. Altri tre elementi sono richiesti alla determinazione della posizione dell'orbita nello spazio. Questi sono: l'angolo ♈ S P, la longitudine del perielio, l'angolo A N *e* che è l'inclinazione dell'orbita al piano dell'eclittica; e per ultimo l'angolo ♈ S N, la longitudine di N, nodo ascendente.

Nota 58, pag 13. *I cui piani.* — I piani delle orbite come P N A *n*, fig. 12, nei quali i pianeti si muovono, sono inclinati o fanno gli angoli

piccoli eNA col piano dell' eclittica $ENen$, e lo tagliano in linee rette NSn che passano per S centro del sole.

Nota 59, pag. 14. *Momento.* — Forza misurata dal peso d' un corpo e la sua velocità semplice congiuntamente. Il primitivo momento dei pianeti è per questo la quantità del moto che loro è stata impressa, quando furono la prima volta lanciati nello spazio.

Nota 60, pag. 14. *Equilibrio instabile.* — Un corpo vien detto essere in equilibrio, quando è così bilanciato da restare in quiete. Ma vi sono due sorti d' equilibrio, stabile ed instabile. Se un corpo bilanciato in stabile equilibrio sia lievemente disturbato, cercherà di ritornare in riposo per un numero di moti qua e là o su e giù, che continuamente diminuiscono sino a che cessano del tutto, e allora il corpo sarà rimesso alla sua originale situazione di riposo. Ma se l' equilibrio è instabile, queste ondulazioni diventeranno maggiori continuamente sino a che l' equilibrio sarà distrutto.

Nota 61, pag. 16. *Retrogrado.* — Che va all' indietro, come dall' est all' ovest, contrariamente al moto dei pianeti.

Nota 62, pag. 17. *Direzioni parallele.* — Tali da non incontrarsi mai per quanto siano prolungate.

Nota 63, pag. 17. *L' intiera forza.* — Sia S, fig. 13, il sole, Nmn il piano dell'eclittica, p il pianeta disturbato che muovesi nella sua orbita npN,

Fig 13.

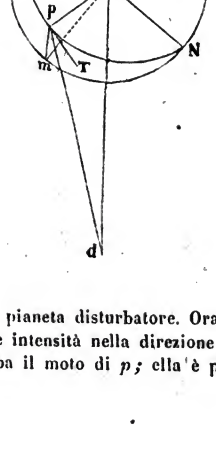


Fig. 14.

e d il pianeta disturbatore. Ora d attrae il sole ed il pianeta p con differente intensità nella direzione $dSdp$: la differenza solo di queste forze disturba il moto di p; ella è perciò chiamata la forza disturbatrice. Ma

questa intiera forza disturbatrice può essere riguardata come equivalente a tre forze che agiscono nelle direzioni pS, pT e pm. La forza che agisce nel raggio vettore pS e che unisce i centri del sole e del pianeta è chiamata la forza radiale. Essa alle volte allontana il pianeta disturbato p dal sole, ed alle volte glielo porta più vicino. La forza che agisce nella direzione della tangente pT dicesi forza tangenziale. Questa disturba il moto di p nella longitudine, cioè accelera il suo moto in alcune parti della orbita di lui e lo ritarda in altre, così che il raggio vettore Sp non trascorre aree eguali (v. nota 26). Per esempio, nella posizione dei corpi nella fig. 14, egli è evidente che in conseguenza dell'attrazione di d il pianeta p avrà il suo moto accelerato da Q a C, ritardato da C a D, di nuovo accelerato da D a O, e finalmente ritardato da O a Q. Il corpo disturbatore è supposto qui starsene in riposo, e l'orbita circolare; ma siccome i due corpi si muovono sempre con velocità differenti secondo delle ellissi, le mutazioni o perturbazioni nei moti di p sono numerosissime. In ultimo quella parte della forza perturbatrice che agisce nella direzione di una linea pm, fig. 13, ad angolo retto al piano dell'orbita Npn può essere chiamata la forza perpendicolare. Questa alle volte fa che il corpo si avvicini e alle volte si allontani dal piano dell'eclittica Nmn di più che non farebbe altrimenti. L'azione delle forze disturbatrici è spiegata a maraviglia in un'opera sulla gravitazione del prof. Airy di Cambridge.

Nota 64, pag. 19. *Periclio.* — Fig. 10, P, il punto dell'orbita più vicino al sole.

Nota 65, pag. 19. *Afelio.* — Fig. 10, A, il punto di un'orbita il più lontano dal sole.

Nota 66, pag. 19. — Nella fig. 15 la forza centrale è maggiore della legge esatta della gravità; perciò la curvatura Ppa è maggiore che PpA, l'ellisse reale: quindi il pianeta p viene al punto a, chiamato l'afelio, più presto che se si movesse nell'orbita PpA, che fa che la linea PSA

Fig. 15.

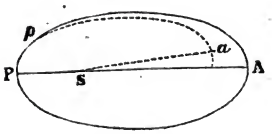
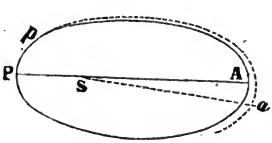


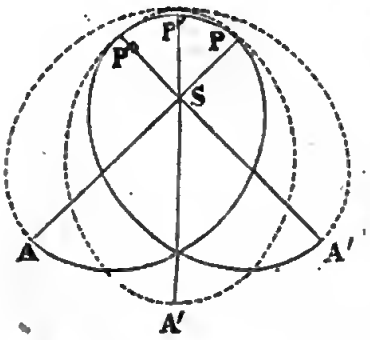
Fig. 16.



avanzi in a. Nella fig. 16, al contrario, la curvatura Ppa è minore che nella vera ellissi, così che il pianeta p deve muoversi di più che per l'arco PpA, ossia 180° prima che egli venga all'afelio a, il che fa che l'asse maggiore PSA receda in a.

Nota 67, pag. 20. *Moto degli apsidi.* — Sia P S A, fig. 17, la posizione dell'orbita ellittica d'un pianeta in un dato tempo: quindi per l'azione delle forze perturbatrici, essa prende successivamente la posizione P' S A', P'' S A'' ec. sino a che per questo moto diretto esso ha compito una rivoluzione; allora comincia da capo, così che il moto è perpetuo.

Fig. 17.

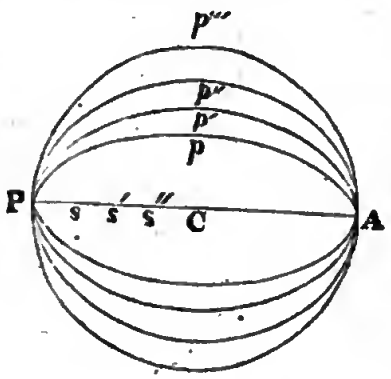


Nota 68, pag. 20. *Rivoluzione siderea.* — Il ritorno consecutivo d'un oggetto alla stessa stella.

Nota 69, pag. 20. *Rivoluzione tropicale.* — Il ritorno consecutivo d'un oggetto allo stesso tropico od equinozio.

Nota 70, pag. 21. *L'orbita solo gonfia.* — Nella fig. 18 l'effetto della variazione nell'eccentricità è dimostrato poichè P *p* A è l'orbita ellittica ad un istante dato: dopo un qualche tempo prenderà la forma P *p'* A, in conseguenza della dimiuuzione nell'eccentricità C S; quindi le forme P *p''* A, P *p'''* A ec. consecutivamente per la stessa ragione, e siccome l'asse maggiore P A ritiene sempre la lunghezza stessa, l'orbita s'accosta più e più da vicino alla forma circolare. Ma dopo che questo è avvenuto per qualche mille anni, l'orbita ristringesi di nuovo e diventa più in più ellittica.

Fig. 18.



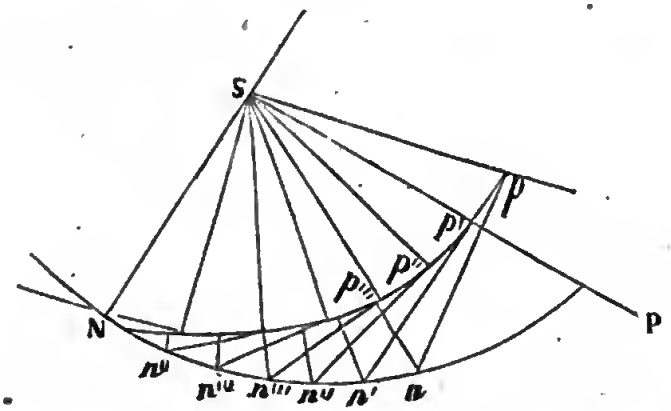
Nota 71, pag. 21. *La eclittica* è l'apparente cammino del sole nel cielo. (n. 46.)

Nota 72, pag. 21 *La forza tende a spingere.* — La forza in questione agendo nella direzione *p m*, fig. 13, spinge il pianeta *p* verso il piano N *m n*, o lo spinge più lontano sopra di esso, dando al pianeta una tendenza a muoversi in un'orbita sopra o sotto la sua orbita non perturbata N *p n*, il che altera l'angolo *p* N *m* e fa che il nodo N e la linea dei nodi N *n* cangino la loro posizione.

Nota 73, pag. 21. *Movimento dei nodi.* — Sia S, fig. 19, il sole; S N *n* il piano dell'eclittica; P il corpo perturbatore; e *p* un pianeta che si muove nella sua orbita *p n*, della quale *p n* è una parte così piccola che è rappresentata come una linea retta. Il piano S *n p* di quest'orbita taglia il piano dell'eclittica nella linea retta S *n*. Supponiamo che la forza perturbatrice cominci ad agire sopra *p* così da tirare il pianeta nell'arco *p p'*; allora invece di muoversi nell'orbita *p n'* egli si moverà nell'orbita *p p' n'* il cui piano taglia l'eclittica nella linea retta S *n'*. Se la forza perturbatrice agisce di nuovo sopra il corpo quando è in *p'* da tirarlo nell'arco *p' p''*, il pianeta tenderà ora a muoversi nell'orbita *p' p'' n''* il cui piano taglia l'eclittica

nella linea retta S n''. L'azione della forza disturbatrice sul pianeta quando è in p'' porterà il nodo in n''' e così via via. In questa maniera il nodo va

Fig. 19.



all'indietro per i successivi punti $n\,n'\,n''\,n'''$ ec. e la linea dei nodi S n ha un moto perpetuo retrogrado verso S centro solare. La forza perturbatrice è stata rappresentata come agente ad intervalli per amore di chiarezza nella spiegazione: in natura è continua così, che il moto del nodo è pure continuo: sebbene egli sia talvolta rapido e talvolta lento, ora retrogrado ed ora diretto: ma nel totale il moto è lentamente retrogrado.

Nota 74, pag. 22. *Quando il pianeta disturbatore* è in qualche sito nella linea S N, fig. 19, o nella prolungazione di lei, si ritrova nel piano medesimo col pianeta disturbato; e comunque egli possa avere molta influenza sui moti di questo in tale piano, non può avere tendenze a tirarnelo fuori. Ma quando il pianeta disturbatore è in P, ad angoli retti alla linea S N e non nel piano dell'orbita, egli ha un potente effetto sul moto dei nodi: tra queste due posizioni vi è una grande varietà d'azione.

Nota 75, pag. 23. *I cangiamenti nell'inclinazione* sono piccolissimi quando vengono paragonati col moto del nodo, come apparisce evidentemente dalla fig. 19, dove gli angoli $n\,p\,n'$ $n'\,p'\,n''$ ec. sono molto più piccoli che gli angoli corrispondenti n S n' S n'' ec.

Nota 76, pag. 24. *Seni e coseni.* — La fig. 4 è una circonferenza: $n\,p$ è il seno, e C p il coseno di un arco $m\,n$. Supponiamo che il raggio C m cominci girare in m nella direzione $m\,n\,a$; allora nel punto m il seno è zero, ed il coseno è eguale al raggio C m. Come la linea C m rivolgesi e prende le successive posizioni C n, C a, C b ec., i seni $n\,p$, $a\,q$, $b\,r$ ec. degli archi $m\,n$, $m\,a$, $m\,h$ ec. crescono, mentre i coseni corrispondenti C p, C q, C r ec. decrescono; e quando il raggio girante prende la posizione C d, ad angoli retti col diametro $g\,m$, il seno diventa eguale al raggio C d, ed il coseno è zero. Dopo passato il punto d, avviene il contrario; perchè i seni eK, lV ec. diminuiscono, ed i coseni CK, CV ec. vanno crescendo, sino a g il seno è zero, ed il coseno è eguale al raggio C g. La stessa alternativa ha luogo per le parti rimanenti $g\,h$, $h\,m$ del cerchio, così che.

un seno o coseno non può mai eccedere il raggio. Siccome la rotazione della terra è invariabile, ogni punto della sua superficie passa per una completa circonferenza, ossia 360° in 24 ore in ragione di 15° in un' ora. Il tempo per questo diventa una misura di moto angolare, e viceversa, gli archi d' un cerchio una misura del tempo; poichè queste due quantità variano simultaneamente ed uniformemente; e siccome i seni ed i coseni degli archi sono espressi in termini del tempo, essi variano con lui. Per questo, per quanto lungo possa essere il tempo, e per quante volte mai il raggio possa girare attorno il cerchio, i seni ed i coseni non possono mai eccedere il raggio; e siccome il raggio si suppone eguale all' unità, i loro valori oscillano tra l' unità e lo zero.

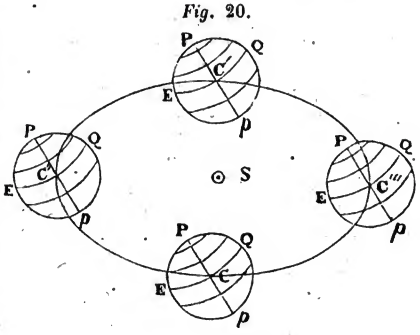
Nota 77, pag. 25. — Le piccole eccentricità ed inclinazioni delle orbite planetarie e le rivoluzioni di tutti i corpi nella stessa direzione, furono provate da Eulero, La Grange e La Place essere condizioni necessarie alla stabilità del sistema solare. Non di meno, di recente la periodicità dei termini delle serie che esprimono le perturbazioni fu supposta essere sufficiente *sola;* ma Poisson ha dimostrato essere un errore: che queste tre condizioni sono necessarie per la dovuta convergenza delle serie, e che perciò la stabilità del sistema dipende da loro *unitamente* alla periodicità dei seni e coseni d' ogni termine. L' autrice conosce che questa nota può solo essere intesa da chi conosce l' analisi; ma ella desidera di correggere un errore; e tanto più, perchè le condizioni della stabilità rinforza una delle più forti dimostrazioni della disposizione dell' originaria costruzione del nostro sistema, e della previdenza e somma sapienza del Divino Architetto.

Nota 78, pag. 27. *Mezzo resistente.* — Un fluido che resiste ai moti dei corpi tale come l' aria atmosferica, o l' elasticissimo fluido chiamato etere, del quale si ha luogo di credere sia riempito lo spazio.

Nota 79, pag. 28 *Obliquità dell' eclittica.* — L' angolo $\epsilon \Upsilon g$, fig. 11, tra il piano dell' equatore terrestre $q \Upsilon Q$, ed il piano dell' eclittica $E \Upsilon e$. La obliquità è variabile.

Nota 80, pag. 29. *Piano invariabile.* — Nella terra l' equatore è il piano invariabile, che approssimativamente mantiene una posizione parallella rispetto a sè stesso, mentre gira attorno al sole come nella fig. 20, dove E Q lo rappresenta. I due emisferi bilanciansi l' un l' altro su d' ogni lato di questo

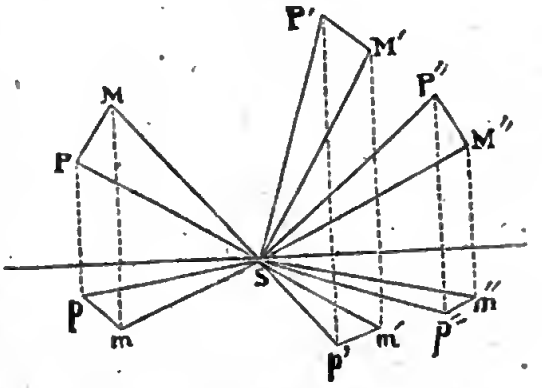
Fig. 20.



piano, e farebbero sempre così, se tutte le particelle di cui consistono fossero mobili tra di loro, purchè la terra non fosse disturbata per l'azione del sole e della luna; il che altera il parallelismo dell'equatore per la piccola variazione chiamata *nutazione* che spiegheremo in appresso.

Nota 81, pag. 29. *Se ogni particella* ec. — Siano P, P', P'' ec., fig. 21, i pianeti che si muovono nelle loro orbite attorno il centro di gravità del sistema. Siano P S M, P' S M' ec. porzioni di queste orbite trascorse dai raggi vettori S P, S P' ec. in un dato tempo, e siano p S m, p' S m' ec. le loro ombre ossia proiezioni sul piano invariabile. Allora se i numeri che rappresentano le masse dei pianeti P, P' ec. siano rispettivamente moltiplicati per i numeri che rappresentano le aree ossia gli spazi p S m, p' S m' ec., la somma dell'intero sarà maggiore pel piano invariabile di quello che lo sarebbe per qualunque altro piano che passasse per S, centro di gravità del sistema.

Fig. 21.



Nota 82, pag. 29. *Il centro di gravità* del sistema solare giace dentro il corpo del sole, a motivo che la sua massa è molto più grande che le masse di tutti i pianeti e satelliti insieme.

Nota 83, pag. 31. *Congiunzione.* — Un pianeta vien detto in congiunzione, quando egli ha la stessa longitudine che il sole; ed in opposizione, quando la sua longitudine differisce da quella del sole di 180°. Così due corpi celesti sono detti in congiunzione, quando essi sono veduti esattamente nella stessa parte del cielo; ed in opposizione, quando sono diametralmente opposti l'uno all'altro. Mercurio e Venere, che sono più vicini al sole della terra, sono detti pianeti inferiori: mentre tutti gli altri; essendo più lontani dal sole che la terra, si dicono pianeti superiori. Supponiamo che la terra sia in E, fig. 24, allora un pianeta superiore sarà in congiunzione col sole in C ed in opposizione a lui quando è in O. Di nuovo supponiamo la terra essere in O, allora un pianeta inferiore sarà in congiunzione quando è in E, ed in opposizione quando è in F.

Nota 84, pag. 32. *Le disuguaglianze periodiche* sono computate per un dato tempo; e conseguentemente per una data forma e posizione delle orbite dei corpi perturbati e perturbatori. Sebbene gli elementi delle orbite varino così lentamente che non si produce veron effetto sensibile sulle disuguaglianze di un periodo breve, pure nel corso del tempo le variazioni secolari degli elementi cangiano le forme e le relative posizioni delle orbite, tanto che Giove e Saturno, i quali sarebbero venuti alle

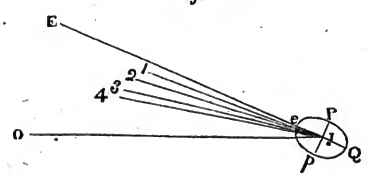
stesse relative posizioni rispetto al sole e all' uno e all' altro dopo 850 anni, non arrivano alle stesse relative posizioni se non dopo 918 anni.

Nota 85, pag. 32. *Configurazione.* — La posizione relativa dei pianeti rispetto l' uno all' altro, al sole e al piano dell' eclittica.

Nota 86, pag. 33. Nella stessa maniera che la eccentricità di una orbita ellittica può essere cresciuta o diminuita dall' azione delle forze perturbatrici, così un' orbita circolare può acquistare meno o più ellitticità per la stessa causa. Per questo le forme delle orbite del primo e secondo satellite di Giove oscillano tra cerchi ed ellissi pochissimo differenti da circonferenze.

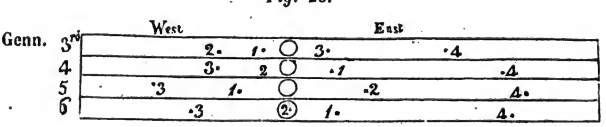
Nota 87, pag. 34. *Il piano dell' equatore di Giove* è il piano immaginario che passa pel suo centro ad angoli retti col suo asse di rotazione, e corrisponde al piano q E Q e nella fig. 1. I satelliti si muovono molto vicino al piano dell' equatore di Giove; perocchè se J sia Giove, fig. 22, Pp il suo asse di rotazione, eQ il suo diametro equatoriale, che è di 6,000 miglia più lungo che Pp, e se JO ed JE sono i piani della sua orbita e dell' equatore guardati a sbieco, allora le orbite de' suoi quattro satelliti veduti di sbieco avranno le posizioni J 1, J 2, J 3, J 4. Queste sono vicinissime l' una l' altra, perchè l' angolo EJO è solo 3° 5′ 30″.

Fig. 22.



Nota 88, pag. 34. In conseguenza dei satelliti che si muovono così vicino al piano dell' equatore di Giove, quando sono veduti dalla terra, appariscono essi sempre vicinissimi in una linea retta, quantunque possano di molto cambiare le loro posizioni rispetto l' un l' altro, e il loro primario. Per esempio, le sere del 3, 4, 5 e 6 di gennaio 1835 i satelliti avevano le configurazioni loro date nella fig. 23, dove O è Giove ed 1, 2, 3, 4 sono il 1°, 2°, 3°, 4° satellite. Il satellite è supposto muoversi in una

Fig. 23.



direzione dalla figura verso il punto. Alla sesta sera del mese il secondo satellite fu veduto sul disco del pianeta.

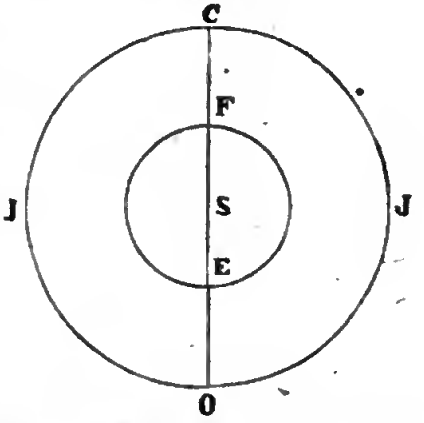
Nota 89, pag. 35. *Moto angolare o velocità* è la prestezza con la quale un corpo gira intorno sè stesso, come fa una frombola, per esempio; o la

prestezza colla quale la superficie terrestre compie la sua diurna rotazione intorno l' asse proprio.

Nota 90, pag. 35. *Spostamento dell' orbita di Giove.* — L'azione dei pianeti produce delle variazioni secolari nella posizione dell' orbita di Giove J O, fig. 22, senza influire sul piano del suo eqnatore J E. Di nuovo il sole e i satelliti stessi, attraendo la materia in protuberanza all'equatore di Giove, cambiano la posizione del piano J E senza influire su di J O. Ambedue cagionano perturbazioni nei movimenti dei satelliti.

Nota 91, pag. 35. *Precessione,* rispetto a Giove è un moto retrogrado del punto dove le linee J O, J E s' intersecano, fig. 22.

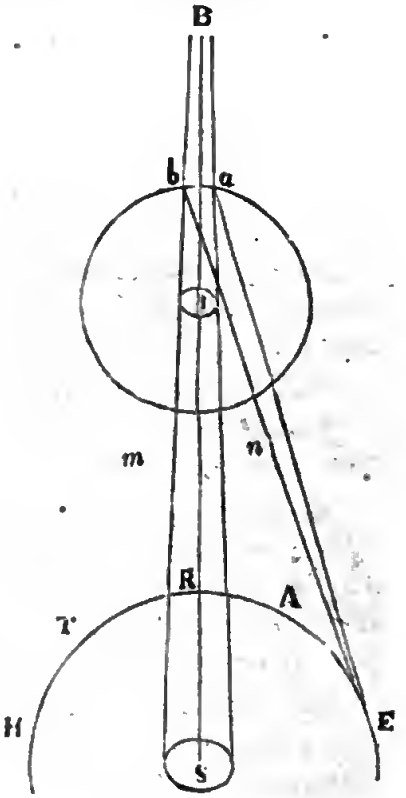
Fig. 24.



Nota 92, pag. 36. *Moto sinodico di un satellite.* — Il suo moto durante l' intervallo tra due suoi eclissi consecutivi.

Nota 93, pag. 36. *Opposizione.* — Un corpo celeste è detto in opposizione quando la sua longitudine differisce da quella del sole di 180°. Se S, fig. 24, è il sole, ed E la terra, allora Giove è in opposizione quando si trova in O, e in congiunzione quando in C. In queste posizioni i tre corpi sono nella stessa linea retta.

Fig. 25.



Nota 94, pag. 37. *Eclissi dei satelliti.* — Sia S, fig. 25, il sole, J Giove, ed *a* B *b* la sua ombra. La terra muovasi nella orbita sua nella direzione EARTH, ed il terzo satellite nella direzione *a b m n*. Quando la terra è in E, il satellite muovendosi per l' arco *a b*, scomparirà in *a* e riapparirà in *b* dallo stesso lato di Giove. Se la terra è in R Giove sarà in opposizione, e allora il satellite muovendosi per l' arco *a b*, scomparirà vicino al disco del pianeta e ricomparirà dall' altro lato di esso. Ma se il satellite si muove per l' arco *m n*, si vedrà passare sopra il disco, ed eclisserà il pianeta.

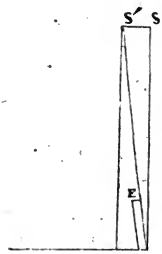
Nota 95, pag. 37. *Meridiano.* — Un meridiano terrestre è una linea che passa attorno la terra e per ambedue i poli. In ogni parte di esso accade mezzo giorno nell' istante stesso. Nelle fig. 1 e 3 le linee N Q S ed N G S sono meridiane, C essendo il centro della terra e NS il suo asse di

rotazione. Il meridiano che passa per l'Osservatorio di Greenwich è preso per l'Inghilterra come un'origine fissa da dove sono contate le longitudini terrestri. E siccome ogni punto sulla superficie terrestre percorre 360°, ossia un completo cerchio in 24 ore in ragione di 15° all'ora, il tempo diventa un rappresentante del moto angolare. Quindi se l'eclisse d'un satellite in un luogo accade a otto ore nella sera, e l'almanacco nautico mostra che il fenomeno stesso avrà luogo a Greenwich alle 9 ore, il luogo dell'osservazione sarà situato al 15° di longitudine ovest.

Nota 96, pag. 37. *Congiunzione.* — Sia S il sole, fig. 24, E la terra e J O J' C' l'orbita di Giove. Allora le eclissi che accadono quando Giove è in O saranno vedute, 16m 26″ più presto che quelle che accadono quando il pianeta è in C. Giove è in congiunzione quando è in C, ed in opposizione quando si ritrova in O.

Nota 97, pag. 38. *Nella diagonale.* — Se fosse la linea A S, fig. 26, 100,000 volte più lunga che A B, la vera posizione di Giove sarebbe nella direzione di A S', diagonale della figura A B S' S, il che è naturalmente fuori di proporzione.

Fig. 26.



Nota 98, pag. 39. *Aberrazione della luce.* — I corpi celesti sono così distanti, che i raggi della luce che vengono da loro, possono essere considerati paralleli. Pertanto siano S A, S' B, fig. 26, due raggi di luce derivanti dal sole o da un pianeta, diretti verso la terra che si muove nella sua orbita nella direzione A B. Se un telescopio si tenga nella direzione A S, il raggio S A invece di entrare nel tubo, striscerà il suo lato, ed andrà perduto in conseguenza del telescopio che è portato con la terra nella direzione A B. Ma se il tubo si tenga nella posizione A E così che A B sia ad A S come la velocità della terra alla velocità della luce, il raggio passerà per S' E A. La stella comparisce essere nella direzione A S', quando ella realmente è nella direzione A S; quindi l'angolo S A S' è l'angolo d'aberrazione.

Nota 99, pag. 39. *Densità proporzionale all'elasticità.* — Quanto più un fluido, come l'aria atmosferica, è ridotto di dimensioni dalla pressione, tanto più egli resiste alla pressione.

Nota 100, pag. 40. *Oscillazioni del pendolo ritardate.* — Se un orologio a pendolo vien portato dal polo all'equatore, la sua ragione sarà diminuita a grado a grado, cioè egli si moverà più e più lentamente: perchè la forza centrifuga, che cresce dal polo all'equatore, diminuisce la forza di gravità.

Nota 101, pag. 43. *Azione perturbatrice.* — La forza perturbatrice agisce qui nella medesima maniera come nella nota 63; solo che il corpo perturbatore *d*, fig. 14, è il sole, S la terra, e *p* la luna.

Nota 102, pag. 43. *Perigeo.* — Parola greca che significa attorno la terra. Il perigeo dell' orbita lunare è il punto P, fig. 6, dove la luna è il più vicino alla terra. Esso corrisponde al perielio d' un pianeta. Qualche volta è usata a significare il punto dove il sole è il più prossimo alla terra.

Nota 103, pag. 44. *Evezione.* — L' evezione è prodotta per l' azione della forza rădiale nella direzione S*p*, fig. 14, che qualche volta accresce e qualche volta diminuisce l' attrazione della terra verso la luna. Essa produce un corrispondente cangiamento temporario nell' eccentricità, che varia con la posizione dell' asse maggiore dell' orbita lunare riguardo la linea S*d*, che unisce i centri della terra e del sole.

Nota 104, pag. 44. *Variazione.* — La perturbazione lunare chiamata *variazione* è l' alternativo accelerare e ritardare della luna in longitudine, per l' azione della forza tangenziale. Essa è accelerata andando dalle quadrature in Q e D, fig. 14, ai punti C ed O, chiamati sizigi; ed è ritardata andando dai sizigi C ed O a Q e D di nuovo.

Nota 105, pag. 45. *Quadrato del tempo.* — Se i tempi crescono nella ragione di 1, 2, 3, 4, ec., anni o centinaia d' anni, i quadrati dei tempi saranno 1, 4, 9, 16 ec., anni o centinaia d' anni.

Nota 106, pag. 46. In ogni investigazione sin qui fatta rispetto all' accelerazione, si è supposto tacitamente che le aree descritte dal răggio vettore della luna non fossero permanentemente alterate: cioè che la forza tangenziale perturbatrice non producesse permanentemente nessun effetto. Ma Adams ha scoperto, che in conseguenza del costante decrescimento di eccentricità nell' orbita terrestre vi è un graduale cangiamento nella forza perturbatrice centrale, il quale modifica la velocità areale, e conseguentemente altera l' ammontare dell' accelerazione d' una piccolissima quantità come pure la variazione e le altre disuguaglianze periodiche lunari. Sulle ultime però esso non ha effetto permanente, a motivo ch' esso le modifica in direzioni opposte in piccolissimi intervalli di tempo, mentre un piccolissimo errore nell' ammontare dell' accelerazione va crescendo tanto che la eccentricità dell' orbita terrestre diminuisce, così che in ultimo vizierebbe i calcoli della posizione della luna per periodi distanti di tempo. Questo dimostra quanto siano complicati i moti lunari e quanta accuratezza si ricerchi nella loro determinazione.

Per dare un' idea della fatica richiesta solamente a perfezionare o correggere le tavole lunari, la posizione della luna fu determinata coll' osservazione nell' osservatorio di Greenwich in 6000 posizioni differenti della sua orbita, ciascuna delle quali fu paragonata cogli stessi punti calcolati dalle formole del Plana; e per far questo, sedici computisti furono costantemente impiegati per otto anni. Dopo che fu determinata la longitudine dietro i movimenti della luna, le tavole lunari sono di grandissima importanza.

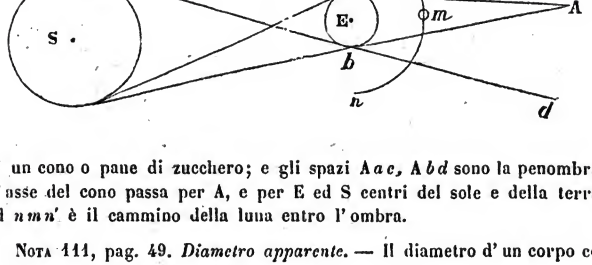
Nota 107, pag. 46. *Anomalia media.* — La anomalia media d' un pianeta è la sua distanza angolare dal perielio, supponendo ch' egli si muova in una circonferenza. La vera anomalia è la sua angolare distanza dal perielio nella sua orbita ellittica. Per esempio nella fig. 10, la media anomalia è P C*m*, e la vera è P S*p*.

Nota 108, pag. 47. *Molte circonferenze.* — Vi sono 360° ovvero 1,296,000 secondi in una circonferenza; e siccome l' accelerazione della luna soltanto cresce in ragione di 11'' in un secolo, egli deve essere passato un numero prodigioso di secoli prima che si accumuli a molte circonferenze.

Nota 109, pag. 48. *Fasi della luna.* — I cangiamenti periodici nella parte illuminata del suo disco da un crescente fino ad un cerchio, dipendenti dalla sua posizione rispetto al sole e alla terra.

Nota 110, pag. 49. *Eclisse lunare.* — Sia S, fig. 27, il sole, E la terra, ed *m* la luna. Lo spazio *a* A *b* è una sezione dell' ombra che ha la forma

Fig. 27.



di un cono o pane di zucchero; e gli spazi A *a c*, A *b d* sono la penombra. L' asse del cono passa per A, e per E ed S centri del sole e della terra, ed *n m n'* è il cammino della luna entro l' ombra.

Nota 111, pag. 49. *Diametro apparente.* — Il diametro d' un corpo celeste veduto dalla terra.

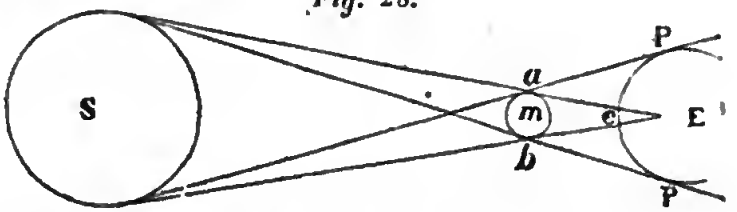
Nota 112, pag. 49. *Penombra.* — L' ombra o l' oscurità imperfetta che precede e segue un' eclisse.

Nota 113, pag. 49 *Rivoluzione sinodica della luna.* — Il tempo tra due consecutive lune nuove o piene.

Nota 114, pag. 50. *Refrazione orizzontale.* — La luce venendo da un oggetto celeste, è inclinata secondo una curva appena ella entra nell' atmosfera nostra, e questa curvatura è la massima quando l' oggetto è nell' orizzonte.

Nota 115, pag. 50. *L' eclisse solare.* — Sia S, fig. 28, il sole, *m* la luna ed E la terra. Allora *a* E *b* è l' ombra della luna, che qualche volta

Fig. 28.

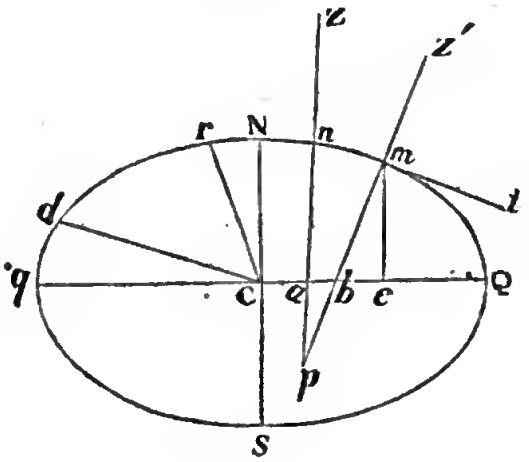


eclissa una piccola porzione della superficie terrestre in *e*, e qualche volta non ci arriva. Per una persona in *e*, nel centro dell' ombra, l' eclisse può essere totale o anulare; per una persona che non sia nel centro dell' ombra, una parte del sole sarà eclissata, e per una che sia nell' orlo dell' ombra, non vi sarà eclisse affatto. Gli spazi P *b* E, P' *a* E sono la penombra.

Nota 116, pag. 54. *Dalle estremità.* — Se la lunghezza della linea *a b*, fig. 29, è misurata in piedi o in tese, gli angoli S *b a*, S *a b* possono es-

Fig. 29.

Fig. 30.



sere misurati, e allora l' angolo *a* S *b* è noto, quindi la lunghezza della linea S C può essere calcolata. *a* S *b* è la parallasse dell' oggetto S, ed è chiaro che quanto maggiore è la distanza di S, tanto apparirà minore la base *a b*, perchè l' angolo *a* S' *b* è minore di *a* S *b*.

Nota 117, pag. 55. *Ogni particella descriverà un cerchio* ec. — Se N S, fig. 3, è l' asse attorno al quale il corpo gira, allora le particelle in B, Q ec. gireranno nei cerchi B G A *a*, Q E *q d*, i cui centri sono nell' asse NS, ed i loro piani paralleli l' uno all' altro. Essi di fatti sono paralleli di latitudine, essendo Q E *q d* l' equatore.

Nota 118, pag. 55. *La forza di gravità.* — La gravità all' equatore agisce nella direzione Q C, fig. 30. Mentre la direzione della forza cen-

trifuga è esattamente contraria, essendo nella direzione CQ; quindi la differenza delle due è la forza chiamata gravitazione, che fa cadere i corpi alla superficie terrestre. Ad un punto m, non all'equatore, la direzione della gravità è mb, perpendicolare alla superficie, ma la forza centrifuga agisce perpendicolarmente ad NS, asse di rotazione. Ora l'effetto della forza centrifuga è lo stesso come se ella risultasse di due forze, una delle quali agente nella direzione bm, diminuisce la forza di gravità, e l'altra che, agendo nella direzione mt, tangente alla superficie in m, spinge le particelle verso Q, e tende a gonfiare la terra all'equatore.

Nota 119, pag. 56. *Massa omogenea.* — Una quantità di materia della stessa densità in ogni sua parte.

Nota 120, pag. 56. *Ellissoide di rivoluzione.* — Un solido formato dalla rivoluzione d'un ellisse attorno al suo asse. Se l'ellisse gira attorno l'asse minore QD, fig. 6, l'ellissoide sarà cipollare, o spianato ai poli come un'arancia. Se la rivoluzione si fa attorno l'asse maggiore AP, sarà allungato come un uovo.

Nota 121, pag. 56. *Strati ellittici concentrici.* — Strati che hanno una forma ellittica e lo stesso centro.

Nota 122, pag. 57. *Sull'intero.* — La linea NQSq, fig. 1, rappresenta l'ellisse in questione, l'asse suo maggiore essendo Qq, ed il minore NS.

Nota 123, pag. 57. *Aumento nella lunghezza dei raggi.* — I raggi gradualmente crescono dal raggio polare CN, fig. 30, che è il minimo, al raggio equatoriale CQ, ch'è il massimo. Vi è ancora un aumento nelle lunghezze degli archi corrispondenti allo stesso numero di gradi dall'equatore ai poli; perchè l'angolo NCr essendo eguale a qCd, l'arco ellittico Nr è minore di qd.

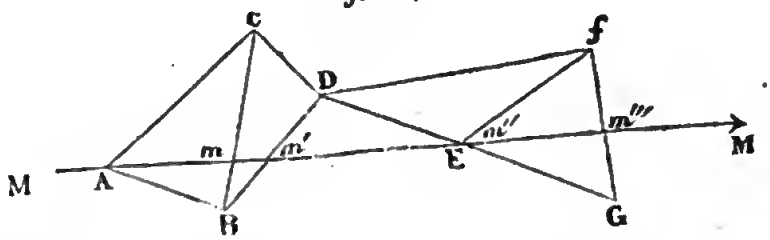
Nota 124, pag. 57. *Coseno di latitudine.* — Gli angoli mCa, mCb, fig. 4, essendo la latitudine dei punti a, b ec., i coseni sono Cq, Cr ec.

Nota 125, pag. 58. *Un arco del meridiano.* — Sia NQSq, fig. 30, il meridiano, ed mn l'arco da misurarsi. Allora se $Z'm$, Zn sono verticali o linee perpendicolari alla superficie della terra, alle estremità dell'arco mn s'incontreranno in p. Qan, Qbm sono le latitudini dei punti m ed n, e la loro differenza è l'angolo mpn. Poichè le latitudini sono eguali all'altezza del polo dell'equinoziale sopra l'orizzonte dei luoghi m ed n, l'angolo mpn può essere ritrovato coll'osservazione. Quando la distanza mn è misurata in piedi o tese, e divisa pel numero dei gradi e delle parti di un grado contenute nell'angolo mpn, la lunghezza d'un arco di un grado è ottenuta.

Nota 126, pag. 59. *Una serie di triangoli.* — Sia MM', fig. 31, il meridiano d'un luogo. Una linea AB è misurata con corde sul suolo livellato d'un certo numero di tese, C essendo qualche punto veduto dalle due estremità di lei. Siccome due degli angoli del triangolo ABC posson essere misu-

rati, le lunghezze dei lati A C, B C possono essere calcolate, e se l'angolo *m* A B che la base A B fa col meridiano vien misurato, la lunghezza dei

Fig. 31.



lati B *m*, A *m* si può ottenere per il calcolo, così che A *m*, una piccola parte del meridiano, è determinata. Di nuovo, se D è un punto visibile dalle estremità della nota linea B C, due degli angoli del triangolo B C D possono essere misurati, e la lunghezza dei lati C D, B D, computata. Allora se l'angolo B *m m'* sia misurato, tutti gli angoli ed il lato B *m* del triangolo B *m m'* sono noti, quindi la lunghezza della linea *m m'* può essere calcolata così che la porzione A *m'* del meridiano è determinata, e nella maniera stessa egli può essere prolungato indefinitamente.

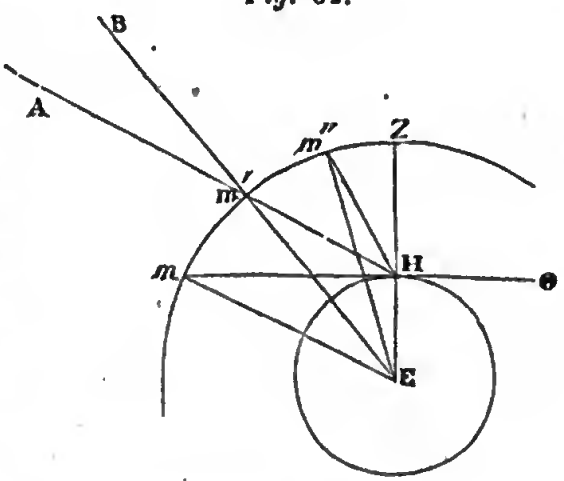
Nota 127, pag. 59. *Il quadrato del seno di latitudine.* — Q *b m*, fig. 30, essendo la latitudine di *m*, *e m* è il seno e *b e* il coseno. Allora il numero che esprime la lunghezza di *e m*, moltiplicato per sè stesso, è il quadrato del seno della latitudine, ed il numero che esprime la lunghezza di *b e* moltiplicato per sè stesso è il quadrato del coseno della latitudine.

Nota 128, pag. 60. Il diametro polare della terra determinato dalla pianta topografica della Gran Bretagna, è di 7900 miglia; l'equatoriale 7926, ciò che dà una compressione di $\frac{1}{299 \cdot 33}$.

Nota 129, pag. 62. *Un pendolo* è quella parte d'un orologio che oscilla.

Nota 130, pag. 65. *Parallasse.* — L'angolo *a* S *b*, fig. 29, sotto il quale noi vediamo un oggetto *a b*: egli pertanto diminuisce come la distanza cresce. La parallasse d'un oggetto celeste è l'augolo, sotto cui il raggio della terra sarebbe veduto, se fosse guardato da quell'oggetto. Sia E, fig. 32, il centro della terra, E H il suo raggio, e *m* H O l'orizzonte d'un ossevatore in H. Allora H *m* E è la parallasse di un corpo *m*, della luna

Fig. 32.



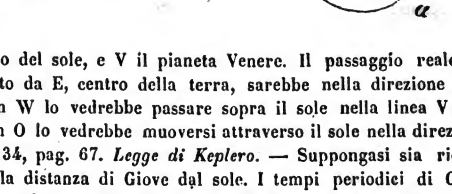
per esempio. Come m ascende più e più alto nei cieli ai punti m', m'' ec., la parallasse Hm'E, Hm''E ec., decresce. In Z, lo zenith, o punto immediatamente sopra la testa dell'osservatore, ella è zero; e in m, dove il corpo è nell'orizzonte, l'angolo HmE è il massimo possibile, ed è chiamata la parallasse orizzontale. È chiaro che rispetto ai corpi celesti l'effetto intero della parallasse è nella verticale o nella direzione $m\,m'$ Z; e come una persona in H vede m' nella direzione Hm'A, quando realmente egli è nella direzione Em'B, questo fa comparire gli oggetti celesti più bassi che non lo siano realmente. La distanza della luna dalla terra è stata determinata dalla sua parallasse orizzontale. L'angolo EmH può essere misurato. EHm è un angolo retto, ed EH, raggio della terra è noto in miglia; quindi la distanza della luna Em è facilmente ritrovata. La parallasse annua è l'angolo sotto il quale il diametro dell'orbita terrestre sarebbe veduto, se fosse guardato da una stella.

Nota 131, pag. 66. *I raggi* αB, nG ec., fig. 3, sono eguali in ogni parallelo di latitudine AαBG; per questo un cambiamento nella parallasse osservata in quel parallelo può solo nascere da un cambiamento nella distanza della luna dalla terra, e quando la luna è alla sua media distanza, che è una quantità costante eguale alla metà dell'asse maggiore della sua orbita, un cambiamento nella parallasse osservata in differenti latitudini, G ed E, deve derivare dalla differenza nelle lunghezze dei raggi nG e CE.

Nota 132, pag. 66. *Quando Venere è nei suoi nodi.* — Ella deve essere nella linea NSn dove l'orbita sua PNAn taglia il piano dell'eclittica ENen, fig. 12.

Nota 133, pag. 66. *La linea descritta* ec. — Sia E, fig. 33, la terra,

Fig. 33.



S il centro del sole, e V il pianeta Venere. Il passaggio reale del pianeta veduto da E, centro della terra, sarebbe nella direzione AB. Una persona in W lo vedrebbe passare sopra il sole nella linea Va, ed una persona in O lo vedrebbe muoversi attraverso il sole nella direzione V'a'.

Nota 134, pag. 67. *Legge di Keplero.* — Suppongasi sia richiesto di ritrovare la distanza di Giove dal sole. I tempi periodici di Giove e di Venere sono dati dall'osservazione, e la distanza media di Venere dal centro del sole è conosciuta in miglia o in raggi terrestri; pertanto per

la regola del tre, la radice quadrata del tempo periodico di Venere sta alla radice quadrata del tempo periodico di Giove come la radice cubica della distanza media di Venere dal sole alla radice cubica della distanza media di Giove dal sole, che così si ottiene in miglia e raggi terrestri. La radice d'un numero è quel numero, che moltiplicato una volta per sè stesso, dà il suo quadrato; due volte moltiplicato, ne dà il cubo. Per esempio, due volte 2 fa 4, e due volte 4 fa 8; per questo 2 è la radice quadrata di 4, e la radice cubica di 8. Nella maniera stessa 3 volte 3 fa 9, e 3 volte 9 fa 27; 3 per questo è la radice quadrata di 9, e la cubica di 27.

Nota 135, pag. 69. *Inversamente* ec. — Le quantità di materia in due pianeti primari sono maggiori in ragione che i cubi dei numeri che rappresentano le medie distanze dei loro satelliti sono più grandi, ed anche in ragione che i quadrati dei loro tempi periodici sono minori.

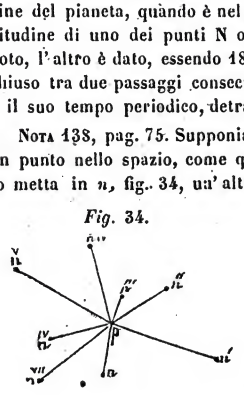
Nota 136, pag. 70. — Siccome cosa alcuna non apparisce più impossibile di quella che l'uomo sia capace di pesare il sole come se esso fosse nel piatto d'una bilancia con la terra nell'altro, il metodo di far questo può essere interessante. L'attrazione del sole sta all'attrazione della terra come la quantità di materia del sole alla quantità di materia della terra, e siccome la forza di questa reciproca attrazione è misurata dai suoi effetti, lo spazio che farebbe la terra cadendo in un secondo per l'attrazione del sole, sta allo spazio che il sole percorrerebbe in un secondo per l'attrazione della terra, come la massa del sole sta alla massa della terra. Quindi quante volte la caduta della terra verso il sole eccede in un secondo la caduta del sole verso la terra nel tempo medesimo, così tante volte la massa del sole eccede la massa della terra. In questo modo il peso del sole sarà conosciuto, se la lunghezza di questi due spazi può essere ritrovata in miglia o parti di miglio. Nulla può essere più facile. Un corpo pesante cade percorrendo 16,0697 piedi in un secondo alla superficie della terra in forza della terrestre attrazione, e siccome la forza di gravità è in ragione inversa del quadrato della distanza, è evidente che 16,0697 piedi stanno allo spazio che un corpo percorrerebbe cadendo alla distanza del sole per l'attrazione della terra, come il quadrato della distanza solare dalla terra sta al quadrato della distanza del centro della terra dalla sua superficie, cioè come il quadrato di 95 milioni di miglia al quadrato di 4000 miglia. Così per un semplice problema della regola del tre, lo spazio che il sole farebbe cadendo in un secondo in forza dell'attrazione della terra può essere ritrovato in parti di miglio. Lo spazio che la terra farebbe cadendo in un secondo per l'attrazione solare deve ora essere pure ritrovato in miglia. Supponiamo *mn*, fig. 4, sia l'arco che la terra descrive attorno il sole in C, in un secondo di tempo, per l'azione congiunta del sole e della forza centrifuga. Per quest'ultima sola la terra si muoverebbe da *m* a T in un secondo di tempo, e per la sola attrazione del sole, percorrerebbe T*n* nell'istesso tempo. Quindi la lunghezza di T*n* in miglia è lo spazio che la

terra percorrerebbe in un secondo per l'attrazione del sole. Ora, siccome l'orbita della terra è vicinissima ad un cerchio, se 360° sono divisi pel numero di secondi in un anno siderale di 365 1/4 giorni, si avrà *m n*, l'arco che la terra percorre in un secondo; e allora le tavole daranno la lunghezza della linea C T in numeri corrispondenti a quell'angolo: ma siccome il raggio C*n* è preso come unità nelle tavole, se 1 è sottratto dal numero rappresentante C T, la lunghezza di T*n* sarà ottenuta; e quando sia moltiplicata per 95 milioni, per ridurla in miglia, lo spazio che la terra percorre per l'attrazione del sole, sarà conosciuto in miglia. Per questo semplice processo si è ritrovato che se il sole fosse messo in un piatto di una bilancia, ci vorrebbero 354,936 globi terrestri per formargli contrappeso.

Nota 137, pag. 75. — La somma della massima e minima distanza S P, S A, fig. 12, è eguale a P A, asse maggiore, e la differenza loro è eguale a due volte l'eccentricità C S. La longitudine ♈ S T del pianeta, quando è nel punto P, alla sua minima distanza dal sole, è la longitudine del perielio. L'altezza massima del pianeta sopra il piano dell'eclittica E N *e n*, è eguale all'inclinazione dell'orbita P N A *n* a questo piano. La longitudine del pianeta, quando è nel piano dell'eclittica, può solo essere la longitudine di uno dei punti N ovvero *n*; e quando uno di questi punti è noto, l'altro è dato, essendo 180° distante da lui. Finalmente il tempo inchiuso tra due passaggi consecutivi del pianeta pel medesimo nodo N ó *n*, è il suo tempo periodico, detratto il recesso del nodo in quell'intervallo.

Nota 138, pag. 75. Supponiamo che si dovesse ricercare la posizione di un punto nello spazio, come quella d'un pianeta, e che un'osservazione lo metta in *n*, fig. 34, un'altra in *n'*, una terza in *n''*, e così via via; tutti i punti *n*, *n'*, *n''*, *n'''* ec., essendo vicinissima tra di loro. La posizione vera del pianeta P non differirà molto da ognuna di queste posizioni. È evidente da questo, che P *n*, P *n'*, P *n''* ec., sono errori d'osservazione. La vera situazione del pianeta P è ritrovata per questa proprietà, che la somma dei quadrati dei numeri rappresentanti le linee P *n*, P *n'* ec. quando sieno sommati insieme, è il minimo errore possibile. Ogni linea P *n*, P *n'* ec., essendo l'errore intero nella posizione del pianeta, è compensata dagli errori di tutti gli altri elementi, e paragonata cogli errori ottenuti dalla teoria, essa somministra i mezzi di trovarli. Il principio dei minimi quadrati è d'una generalissima applicazione: la sua dimostrazione non può avere luogo qui, ma il lettore ricorra all'Astronomia di Biot, vol. II, pag. 203.

Fig. 34.



Nota 139, pag. 77. — La vera longitudine di Urano era in avanti nelle tavole anteriori al 1795, e continuò ad avanzare sino al 1822, dopo

di che diminuiva rapidamente sino al 1830—1, quando le longitudini osservate e calcolate si accordarono ; ma allora il pianeta si mostrò in dietro al luogo calcolato così rapidamente, che fu chiaro le tavole non potevano più lungamente rappresentare il movimento di esso.

Nota 140, pag. 82. *Un' asse che* ec. — La fig. 20 rappresenta la terra che gira nella sua orbita attorno al sole in S, l' asse di rotazione P *p* essendo da per tutto parallelo a sè stesso.

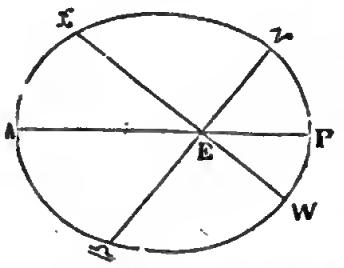
Nota 141, pag. 82. *Angolari velocità che sono sensibilmente uniformi* ec. — La terra ed i pianeti girano attorno i loro assi con moto uniforme, che non è mai nè più lesto nè più lento. Per esempio, la lunghezza del giorno non è nè maggiore nè minore di 24 ore.

Nota 142, pag. 86. — Se la fig. 1 sia la luna, N S suo diametro polare è il più corto; e fra quelli che sono nel piano dell' equatore, Q E *q*, quello che accenua la terra è maggiore di tutti gli altri.

Nota 143, pag. 92. *Inversamente proporzionale* ec. — Cioè, l' ammontare totale dell' irraggiamento solare diventa minore come l' asse minore C C, fig. 20, dell' orbita terrestre si fa maggiore.

Nota 144, pag. 94. La fig. 35 rappresenta la posizione dell' orbita apparente del sole come ella è al presente, essendo la terra in E. Il sole è più vicino alla terra nel muoversi per ♎ P ♈, che nel muoversi per ♈ A ♎: ma il suo moto per ♎ P ♈ è più rapido che per ♈ A ♎; e siccome la velocità del moto e la quantità di calore ricevuto variano nella stessa proporzione, ha luogo una compensazione.

Fig. 35.



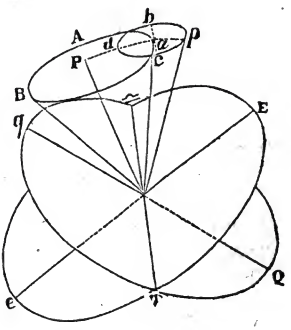
Nota 145, pag 95. *In un' elissoide di rivoluzione* ec., fig. 1, il diametro polare N S, ed ogni diametro nell' equatore *q* E Q *e*, sono assi permanenti di rotazione, ma la rotazione sarebbe instabile attorno qualunque altro. Se cominciasse la terra a girare attorno C *a*, la distanza angolare da *a* all' equatore in *q* non sarebbe più grande di 90°, il che sarebbe subito manifestato dal cangiamento che questo produrrebbe nelle latitudini.

Nota 146, pag. 100. — Siano *q* ♈ Q ed E ♎ *e*, fig. 11, i piani dell' equatore e dell' eclittica. L' angolo *e* ♈ Q, che li divide, chiamato obliquità dell' eclittica, varia in conseguenza dell' azione del sole e della luna sopra la protuberante materia dell' equatore terrestre. Questa azione porta il punto Q verso *e*, e tende a far coincidere il piano *q* ♈ Q con l' eclittica E ♈ *e*; il che cagiona che i punti equinoziali ♈ ed ♎ si muovano lentamente all' indietro sul piano *e* ♈ E nella ragione di 50″·41 all' anno. Questa parte di moto, che dipende dalla forma terrestre, è chiamata precessione luni-solare. Un' altra parte indipendente affatto dalla forma terrestre, deriva dalla azione mutua della terra, dei pianeti e del sole, la quale, alterando la posizione del piano dell' eclittica *e* ♈ E, fa che i punti

equinoziali ♈ ed ♎ avanzino nella ragione di 0″·31 all'anno: se non che questo moto essendo molto minore del primo, i punti equinoziali recedono sul piano dell'eclittica in ragione di 50″·1 all'anno. Questo movimento è chiamato la precessione degli equinozi.

Nota 147, pag. 82. — Siano q ♈ Q ed e ♈ E, fig. 36, i piani dell'equatore equinoziale o celeste e dell'eclittica, e pP i loro poli. Quindi supponiamo che p, polo dell'equatore, rivolgasi con un moto tremolo o ondulatorio nella piccola ellisse $p\,c\,d\,b$ per circa 19 anni, essendo i due movimenti piccolissimi, mentre il punto a è portato attorno nel cerchio a A B in 25,868 anni. Il moto ondulatorio può rappresentare la variazione semi-annua; il moto nell'ellisse darà un'idea della nutazione scoperta da Bradley, ed il moto nel cerchio a A B deriva dalla precessione degli equinozi. L'asse maggiore $p\,d$ della piccola ellisse è 18″·5, il minore $b\,c$ è 13″·74. Questi movimenti sono così piccoli, che hanno pochissimo effetto sul parallelismo dell'asse della rotazione della terra durante la rivoluzione di questa attorno al sole, come vien rappresentato nella fig. 20. Siccome le stelle sono fisse, questo moto reale nel polo della terra deve produrre un cangiamento apparente nelle loro posizioni.

Fig. 36.



Nota 148, pag. 103. — Per mezzo di un istrumento da passaggi il quale è un telescopio montato in modo da rivolgersi solo nel piano del meridiano, l'istante del transito o passaggio d'un corpo celeste pel meridiano può esser determinato. I transiti delle stelle principali si usano per accertare il tempo, o ciò ch'è lo stesso, l'ammontare dell'errore degli orologi. Un sistema di fili di metallo equidistanti come vien rappresentato dalla figura, è posto nel foco dell'oculare, così che il filo di mezzo è perpendicolare e ad angoli retti coll'asse del telescopio; esso per conseguenza rappresenta una porzione del meridiano celeste, e quando si vede una stella incrociare quel filo, essa allora incrocia il meridiano celeste del luogo di osservazione. Un orologio che batte i secondi essendo tenuto in mano, il dovere d'un osservatore è di notare l'esatto secondo e parte d'un secondo, in cui una stella incrocia ogni filo successivamente in conseguenza della rotazione della terra. Allora la media di tutte queste osservazioni darà il tempo nel quale la stella attraversa il meridiano celeste del luogo di osservazione fino a un decimo di secondo, purchè le osservazioni siano esatte. Ora accade

che la simultanea impressione sull'occhio e sull'orecchio è stimata differentemente dai differenti osservatori così che una persona noterà il passaggio d'una stella, per esempio, come avvenuta una frazione di secondo più avanti o più tardi di un'altra persona; e siccome questo è il caso ad ogni osservazione ch'ei faccia, vien chiamata la sua *personale equazione*, cioè una correzione che deve esser applicata ad ogni osservazione dell'individuo, ed un curioso esempio dell'individualità di esso. Per esempio, O. Struve notava ogni osservazione 0''·11 troppo presto, Peters 0''·13 troppo tardi; Struve notava ogni osservazione un secondo più tardi di Bessel, e Argelander stimava il passaggio d'una stella 1''·2 più tardi che Bessel. Tutti questi signori erano o sono osservatori di primo ordine, e quando la personale equazione è conosciuta, è facile correggere le osservazioni. Con tutto ciò per evitare questi inconvenienti Bond ha introdotto un metodo nell'osservatorio di Cambridge negli Stati Uniti, nel quale il tatto è combinato colla vista invece dell'udito, il quale è ora messo in pratica anche a Greenwich. L'osservatore al momento dell'osservazione preme i suoi diti sopra una macchina la quale per mezzo d'una batteria galvanica porta la impressione laddove il tempo è misurato e notato, così che l'osservazione tutto in un tempo è ricordata e viene evitata la personale equazione.

Nota 149, pag. 103. Sia N il polo, fig. 11, *e* E l'eclittica e Q*q* l'equatore. Allora N*n m*S essendo un meridiano, e ad angoli retti coll'equatore, l'arco ♈ *m* è minore dell'arco ♈ *n*.

Nota 150, pag. 105. *Alzata eliaca di Sirio.* — Quando la stella apparisce nel mattino all'orizzonte un poco prima dell'alzata del sole.

Nota 151, pag. 108. — Sia P ♈ A ♎ fig. 35, l'orbita apparente o il cammino del sole, essendo la terra in E. L'asse suo maggiore A P è al presente situato come nella figura, dove il perigeo solare P è tra il solstizio d'inverno e l'equinozio di primavera. Così che il tempo del passaggio del sole per l'arco ♈ A ♎ è maggiore del tempo ch'egli mette a passare per l'arco ♎ P ♈. L'asse maggiore A P coincideva con ♎ ♈, linea degli equinozi, 4000 anni prima dell'era cristiana; in quel tempo P era nel punto ♈. Nel 6468 dell'era cristiana il perigeo P coinciderà con ♈. Nel 1234 A. D. l'asse maggiore era perpendicolare a ♈ ♎, e allora P era nel solstizio invernale.

Nota 152, pag. 109. *Il solstizio.* — Poichè la declinazione d'un oggetto celeste è la sua distanza angolare dall'equinoziale, la declinazione del sole al solstizio è eguale all'arco Q*e*, fig. 11, che misura l'obliquità dell'eclittica o la distanza angolare del piano ♈ *e* ♎ dal piano ♈ Q ♎.

Nota 153, pag. 109. *Distanza zenitale.* — È la distanza angolare d'un oggetto celeste dal punto immediatamente sopra la testa dell'osservatore.

Nota 154, pag. 110. *Ridotto al livello del mare.* — La forza della gravitazione decresce come il quadrato dell'altezza sopra la superficie della

terra aumenta, così che un pendolo vibra più lentamente sopra un luogo alto, e per avere un tipo indipendente dalle locali circostanze, è necessario ridurlo alla lunghezza, in cui farebbe esattamente 86,400 oscillazioni in un giorno solare medio al livello del mare.

Nota 155, pag. 111. *Un quadrante del meridiano* è la quarta parte d'un meridiano, ossia un arco di un meridiano che contiene 90°, come NQ, fig. 11.

Nota 156, pag. 115. *L'arrivo della luna al meridiano.* — Il tempo in cui la luna è sul meridiano d'un luogo, che accade circa 48 minuti più tardi ogni giorno.

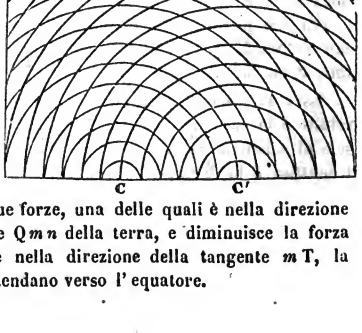
Nota 157, pag. 118. *La velocità angolare della rotazione terrestre* è nella ragione di 180° in dodici ore che è il tempo inchiuso tra il passaggio della luna sul meridiano superiore ed inferiore.

Nota 158, pag. 119. — Se S sia la terra, fig. 14, *d* il sole, C Q O D l'orbita della luna, allora C ed O sono i sizigi. Quando la luna è nuova, ella è in C, e quando piena in O; e siccome sole e luna sono allora sullo stesso meridiano, questo produce il flusso, essendo alta l'acqua nei luoghi sotto C ed O, mentre è bassa in quelli sotto Q e D. La marea bassa avviene quando la luna è nelle quadrature in Q o in D, perchè allora ella è distante dal sole di un angolo *d* S Q, o *d* S D, ciascuno di 90°.

Nota 159, pag. 119. *Declinazione.* — Se la terra sia in C, fig. 11, e se *q* ♈ Q l'equinozio ed N *m* S un meridiano, allora *m* C *n* è la declinazione di un corpo in *n*. Per questo il coseno di quest'angolo è il coseno di declinazione.

Nota 160, pag. 123. La figura 37 mostra la propagazione delle onde da due punti C e C', dove si suppone che le pietre siano cadute. Quei punti nel quali le onde s' incrociano l'un l'altra, sono i luoghi dove esse annullano reciprocamente gli effetti loro, così che l'acqua vi è quieta, mentre è agitata negli spazi intermedi.

Fig. 37.

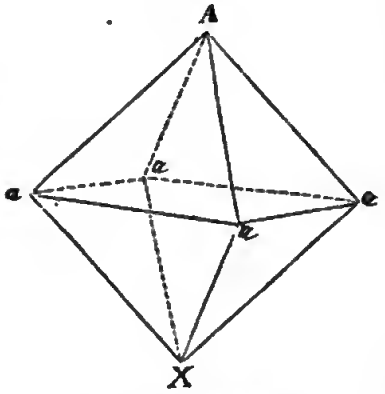


Nota 161, pag. 124. *La forza centrifuga* ec. — La forza centrifuga agisce in una direzione ad angoli retti a NS, asse di rotazione, fig. 30. I suoi effetti sono equivalenti a due forze, una delle quali è nella direzione *b m* perpendicolare alla superfice Q *m n* della terra, e diminuisce la forza di gravità in *m*. L'altra agisce nella direzione della tangente *m* T, la quale fa che le particelle fluide tendano verso l'equatore.

Nota 162, pag. 131. *Formula analitica o espressione.* — Una combinazione di simboli o segni che esprimono o rappresentano una serie di calcoli, ed inchiude ogni caso particolare che può derivare da una legge generale.

Nota 163, pag. 132. *La figura* 38 *è un perfetto ottaedro.* — Qualche volta i suoi angoli A X *a a a a* ec. sono troncati, o tagliati. Qualche volta una fetta è tagliata via sui suoi spigoli A *a*, X *a*, *a a* ec. Alle volte hanno luogo queste due modificazioni insieme.

Fig. 38.



Nota 164, pag. 133. — I cristalli prismatici del solfato di nickelio sono alcun che simili alla fig. 62, se non che essi sono fini come un capello.

Nota 165, pag. 133. *Zinco.* — Metallo che ritrovasi nativo o misto con altri metalli. Si usa per fare l'ottone.

Nota 166, pag. 133. *Un cubo* è un solido contenuto da sei piane superficie quadrate.

Fig. 39.

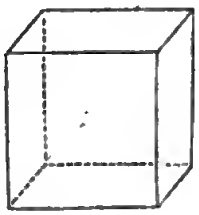
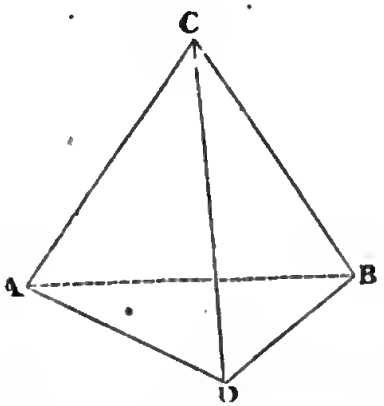


Fig. 40.



Nota 167, pag. 134. *Un tetraedro* è un solido contenuto da quattro facce triangolari come la fig. 40: di questo solido vi sono molte varietà.

Nota 168, pag. 134. Vi sono molte varietà dell'ottaedro. In quella menzionata nel testo, la base *a a a a*, fig. 38, è un quadrato ma potrebbe essere anche un rombo: questo solido può essere anche allungato nella direzione del suo asse A X o può essere depresso.

Nota 169, pag. 135. — *Un romboedro* è un solido contenuto da sei superficie piane come nella fig. 63, i piani opposti essendo rombi eguali e simili, l'un all'altro paralleli; ma tutti i piani non sono necessariamente eguali o simili, nè i suoi angoli sono angoli retti. Nel carbonato di calce l'angolo C A B è 105°·55 e l'angolo B o C è 75°·05.

Nota 170, pag. 136. *Sublimazione.* — Corpi ridotti in vapore e di nuovo condensati in stato solido.

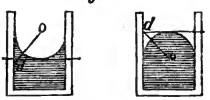
Nota 171, pag. 139. *Platino.* — Il più pesante dei metalli; il suo colore è intermedio tra l'argento e il piombo.

Nota 172, pag. 141. — La superficie d'una colonna di acqua o di spirito di vino in un tubo capillare, è concava, quella d'una colonna di mercurio è convessa o rotonda come nella fig. 41.

Nota 173, pag. 141. *Ragione inversa.* — L'elevazione del liquido è maggiore in proporzione che il diametro interno del tubo è minore.

Nota 174, pag. 142. — Nella fig. 41 la linea *c d* mostra la direzione della forza risultante nei due casi.

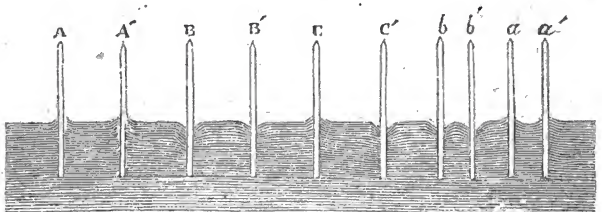
Fig. 41.



Nota 175, pag. 143. — Quando due lastre di vetro sono portate vicine l'una all'altra nell'acqua, il liquido s'eleva tra di loro, e se le lastre toccansi vicendevolmente ad uno dei loro spigoli retti in alto, il contatto dell'acqua diventerà una iperbole.

Nota 176, pag. 143. — Sieno A A', fig. 42, due lastre, ambedue inumidite, e B B' due asciutte. Quando s'immergano in parte in un liquido, la su-

Fig. 42.



perficie di questo sarà curva vicino ad esse; ma sarà del suo livello ordinario per il resto della distanza. A tale distanza esse nè si attrarranno nè si respingeranno mutuamente. Ma appena saranno portate vicine abbastanza per avere tutta la superficie liquida curva tra di loro come in *a a'*, *b b'*, esse si allontaneranno insieme. Se una sia inumidita e l'altra asciutta, come in C C', si respingeranno a vicenda ad una certa distanza, ma tosto che saranno portate vicinissimo, si slanceranno come nei primi casi.

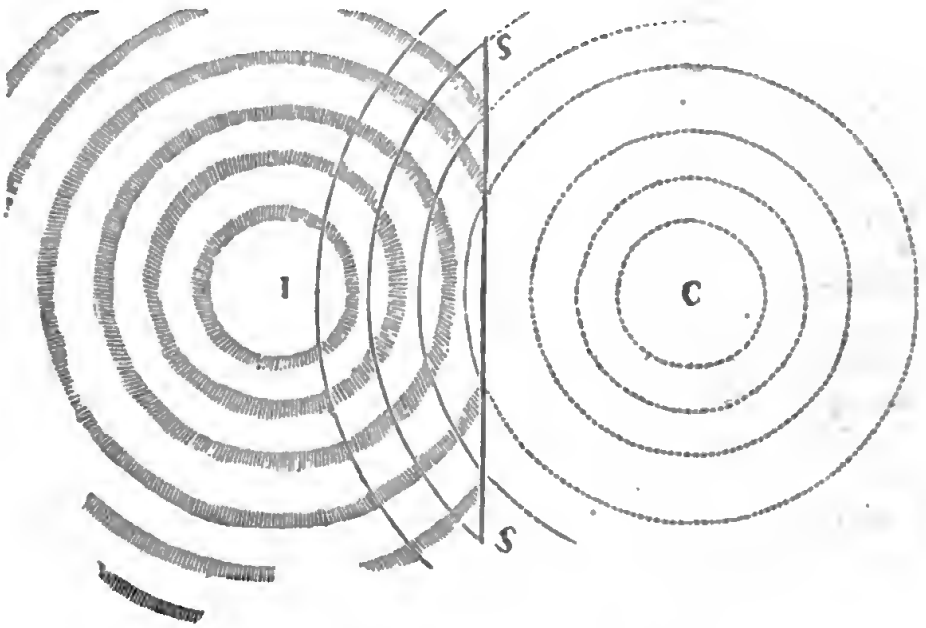
Nota 177, pag. 152. — In una memoria sopra i cambiamenti atmosferici che la pioggia, ed i venti producono, di Tommaso Hopkins, nel *Geographical Journal*, è dimostrato che, quando il vapore si condensa e cade in pioggia, un vuoto parziale si forma, e che l'aria circostante spingendovisi, dà luogo ad una corrente di vento. Così il vento originato dalla grande precipitazione del vapor acqueo, obbliga nei tropici i venti polari

a discendere dalle regioni superiori delle atmosfera, e soffiare lungo la superficie all' equatore in forma di venti alisei, per supplire le correnti calde che continuamente si alzano alle più alte regioni. Questa circostanza rimuove la sola difficoltà che si incontra nella storia dei venti del Luogotenente Maury.

Nota 178, pag. 166. *Calorico latente.* — Vi è una certa quantità di calorico in tutti i corpi, che non può essere sentito dal termometro, ma che può diventare sensibile colla compressione.

Nota 179, pag. 170. *Onde riflesse.* — Una serie di onde luminose, sonore, o di acqua, divergono in ogni direzione dalla loro origine I, fig. 43,

Fig. 43.



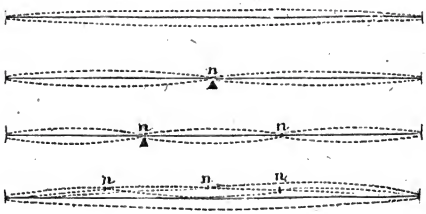
come da un centro. Quando esse incontrano un ostacolo S S, percuotono contro di esso, e sono riflesse o ritornano addietro nella stessa forma, come se fossero derivate dal centro C, ad una eguale distanza sull' uno e l' altro lato della superficie S S.

Nota 180, pag. 170. *Guscio ellittico.* — Se la fig. 6 è una sezione ellittica, allora tutti i suoni che vengono dal foco S ai differenti punti sulla superficie come *m* sono riflessi in dietro in F; perchè l' angolo T *m* S è eguale a *t m* F. In una sezione cava sferica, un suono che diverge dal centro è riflesso indietro di nuovo al centro.

Nota 181, pag. 175. — La fig. 44 rappresenta delle corde armoniche in vibrazione; le linee rette sono le corde in riposo. La prima figura delle quattro darebbe la nota fondamentale, come, per esempio, il C basso. La seconda e la terza darebbero il primo ed il secondo suono armonico, ciò l' ottava e la dodicesima sopra C, essendo *n n n* ec. i punti

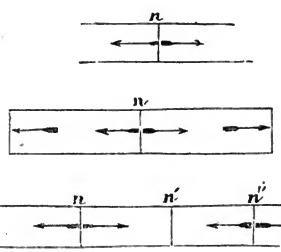
in riposo; la quarta figura mostra il movimento reale quando si compone di tutti e tre.

Fig. 44.



Nota 182, pag. 177. — La fig. 45 rappresenta le sezioni d'un tubo aperto e d'uno chiuso, e d'un tubo aperto ad una estremità. Quando si suona, l'aria spontaneamente si divide in segmenti. Essa resta in riposo nelle divisioni o nodi $n\,n'$ ec., ma vibra tra essi nella direzione della testa della freccia. Le ondulazioni della colonna intiera aerea danno la nota fondamentale, mentre le vibrazioni delle divisioni danno i suoni armonici.

Fig. 45,



Nota 183, pag. 179. — La fig. 1 della tavola 1 mostra la superficie in vibrazione, quando l'arena la divide in quadrati, e la fig. 2 rappresenta la stessa quando le linee nodali la dividono in triangoli. Le porzioni marcate $a\,a$ sono in istati differenti di vibrazione da quelli marcati $b\,b$.

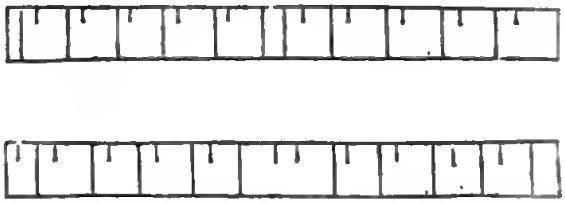
Nota 184, pag. 180. — Le tavole 1 e 2 contengono alcune delle figure di Chladni. Le linee bianche sono le forme assunte dalla sabbia, per i differenti modi di vibrazione, corrispondenti alle note musicali di differente altezza. La tavola 3 contiene sei figure circolari di Chladni.

Nota 185, pag. 180. — È principio di M. Wheastone che quando le vibrazioni che producono le forme delle fig. 1 e 2, tavola 3, sono unite nella stessa superficie, fanno sì che la sabbia prenda la forma della fig. 3. Nella maniera stessa, le vibrazioni che separatamente obbligherebbero la sabbia di prendere la forma delle fig. 4 e 5, quando sieno unite le faranno prendere la forma della fig. 6. La fig. 9 risulta dai modi di vibrazione combinati della 7 ed 8. Le parti notate $a\,a$ sono in differenti stati di vibrazioni da quelli notati $b\,b$. Le fig. 1, 2, e 3 della tavola 4 rappresen-

tano le forme che la sabbia prende in conseguenza dei modi semplici di vibrazione; 4, e 5 sono quelle che risultano dai due modi combinati di vibrazione: e l'ultime sei figure derivano dalle quattro forme semplici sovrapposte di vibrazione. Queste figure complicate sono determinate dal calcolo indipendente dall' esperimento.

Nota 186, pag. 181. — Le lunghe linee traversali della fig. 46, mostrano i due sistemi di linee nodali dati dalle lamine di M. Savart.

Fig. 46.



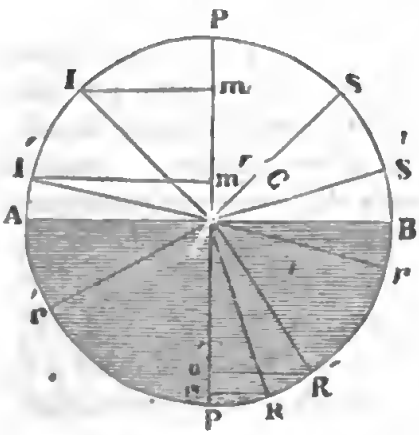
Nota 187, pag. 181. Le linee corte della fig. 46 mostrano le posizioni delle linee nodali sulle altre facce delle stesse lamine.

Nota 188, pag. 182. — La fig. 47 mostra le linee nodali sopra un cilindro cogli anelli di carta, che indicano i punti in riposo.

Fig. 47.

Nota 189, pag, 182. *Riflessione e Rifrazione.* — Sia P C *p*, fig. 48, perpendicolare ad una superficie di vetro o d'acqua A B. Quando un raggio di luce che passa per l'aria cade su questa superficie in una direzione I C, parte di lui è riflesso nella direzione C S, e l'altra parte è inclinato in C e passa per il vetro o l'acqua nella direzione C R. I C è chiamato il raggio incidente, ed I C P l'angolo d'incidenza; C S è il raggio riflesso, e P C S l'angolo di riflessione; C R è il raggio refratto, e *p* C R l'angolo di rifrazione. Il piano che passa per S S ed I C è il piano di riflessione, ed il piano che passa per I C e C R è il piano di refrazione. Nei casi ordinari C I, C S, C R sono tutti nello stesso piano. Noi vediamo la superficie per mezzo della luce riflessa, chè altrimenti sarebbe invisibile. Qualunque possa essere la superficie riflettente, e per quanto obliquamente la luce possa cadervi sopra, l'angolo di riflessione è sempre eguale all'angolo d'incidenza. Così I C, I′ C essendo raggi incidenti sulla superfice in C, essi saranno riflessi in C S, C S′ in modo che l'angolo S C P sarà eguale all'angolo I C P, ed S′ C P eguale a I′ C P. Questo non è giammai il caso dei raggi refratti. I raggi incidenti I C, I′ C sono inclinati in C verso la perpendi-

Fig. 48.



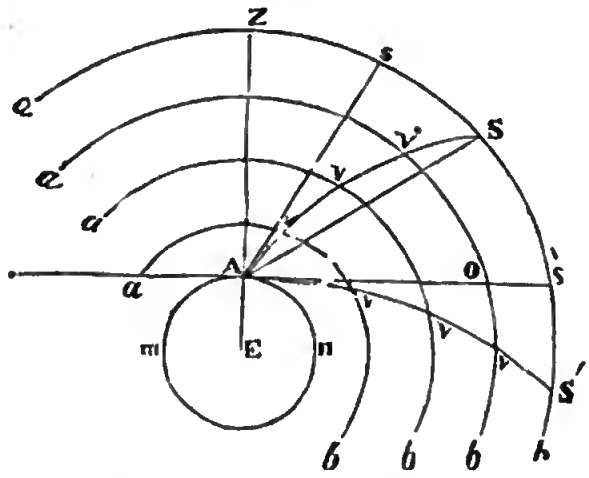
colare nella direzione C R, C R'; e la legge di rifrazione è tale che il seno dell'angolo d'incidenza è in una costante ragione col seno dell'angolo di rifrazione, cioè il numero che esprime la lunghezza di I *m*, seno di I C P, diviso pel numero che esprime la lunghezza di R *n*, seno di R C *p*, è lo stesso per tutti i raggi di luce che possono cadere sulla superficie d'una sostanza, ed è chiamato il suo indice di rifrazione. Sebbene l'indice di rifrazione sia lo stesso per ogni sostanza, egli non è lo stesso per tutte le sostanze. Per l'aequa egli è 1·336; pel *crown-glass* 1·535; pel *flint-glass* 1·6; pel diamante 2·487; e pel cromato di piombo 3, la quale sostanza ha un potere rifrattivo più alto che alcun'altra conosciuta. La luce cadendo perpendicolarmente su d'una superficie passa per la stessa senza essere rifratta. Se ora si suppone che la luce passi da un mezzo denso ad uno meno denso, come da un vetro o dall'aequa all'aria, allora R C, R' C, diventano i raggi incidenti; ed in questo caso i raggi rifratti C I, C I' sono inclinati lungi dalla perpendicolare invece di esserlo verso la stessa. Quando l'incidenza è obliqua assai come r C, la luce non passa affatto nell'aria ma è *totalmente* riflessa nella direzione C *r'*, così che l'angolo *p* C *r* è eguale a *p* C *r'*; questo accade di frequente alla seconda superficie di vetro. Quando un raggio I C cade dall'aria sopra un pezzo di vetro A B, egli è generalmente rifratto ad ogni superficie. In C è inclinato verso la perpendicolare, ed in R lungi da lei, ed il raggio emerge parallelo a I C; ma quando il raggio è obliquo assai alla seconda superficie, egli è totalmente riflesso. Un oggetto veduto per riflessione totale è quasi così vivace come quando è veduto per visione diretta, perchè nessuna parte della luce è rifratta.

Quando la luce cade sopra una lastra di crown-glass con un angolo di 4°, 32' alla sua superficie, il cristallo riflette quattro volte più luce che se fosse trasmessa. Ad un angolo di 7°, 1' la luce riflessa è doppia di quella trasmessa, ad un angolo di 11°, 8' la luce riflessa è uguale a quella trasmessa; a 17°, 17' la riflessa è uguale alla metà della trasmessa; a 26°, 38' è uguale a un quarto; la variazione essendo, secondo Arago, come il quadrato del coseno.

Nota 190, pag. 190. *Rifrazione atmosferica.* — Siano *a b*, *a b*, fig. 49, strati, o finissimi suoli dell'atmosfera, che crescono in densità verso *m n*, superficie della terra. Un raggio che deriva da una stella incontrando la superficie dell'atmosfera in S, sarebbe rifratto alla superficie d'ogni strato, e conseguentemente si trasmetterebbe secondo la linea curva S *v v v* A; e siccome un oggetto è veduto nella direzione del raggio che s'incontra nell'occhio, la stella che realmente è nella direzione del raggio A S, sarebbe veduta in S da una persona che fosse in A. Così che la rifrazione, che agisce sempre in una direzione verticale, innalza gli oggetti sopra la loro vera posizione. Per questa ragione un corpo in S', sotto all'orizzonte H A O sarebbe innalzato, e sarebbe veduto in *s'*. Il sole è spesso visibile per rifrazione dopo il suo tramonto, o prima del suo nascere. Non

vi è rifrazione allo zenith in Z. Essa cresce in tutte le maniere all'orizzonte, dove è la massima, essendo la variazione proporzionale alla tan-

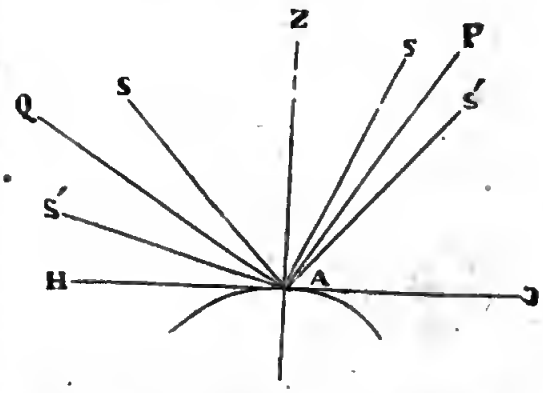
Fig. 49.



gente degli angoli ZAS, ZAS', distanze dei corpi SS' dallo zenith. Più obliquamente cadono i raggi, più grande è la rifrazione.

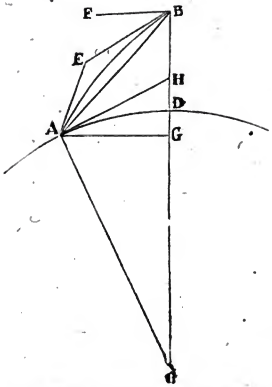
Nota 191. pag. 191. *Metodo di Bradley per accertarsi dell' ammontare della rifrazione.* — Sia, fig. 50, Z lo zenith o punto immediatamente sopra un osservatore in A; sia HO il suo orizzonte e P il polo dell' equinoziale AQ. Quindi PAQ è un angolo retto. Una stella vicina al polo come *s* apparirebbe girare attorno ad esso in conseguenza della rotazione terrestre. A mezzo giorno, per esempio, ella sarebbe in *s* sopra il polo, e a mezzanotte sarebbe in *s'* sotto di lui. La somma delle vere distanze zenitali ZA*s*, ZA*s'* è eguale a due volte l' angolo ZAP. Di nuovo S ed S' essendo il sole alla sua massima distanza dall' equinoziale AQ, quando è nei solstizi, la somma delle sue vere distanze zenitali ZAS, ZAS', è eguale a due volte l' angolo ZAQ. Conseguentemente le quattro vere distanze zenitali, aggiunte insieme, sono eguali a due volte l' angolo retto QAP; cioè esse sono eguali a 180°. Ma le distanze zenitali osservate o apparenti sono minori delle vere per riguardo alla rifrazione; per questo la somma delle quattro apparenti distanze zenitali è minore di 180° per l' intero ammontare delle quattro rifrazioni.

Fig. 50.



Nota 192. pag. 192. *Rifrazione terrestre.* — Sia C, fig. 51, il centro della terra, A un osservatore alla sua superficie, AH il suo orizzonte, e

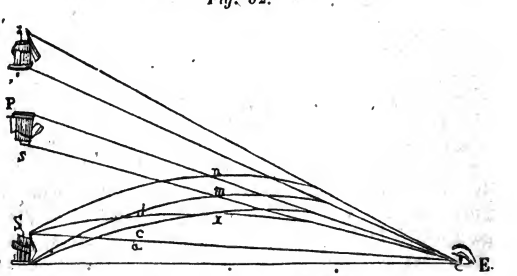
Fig. 51.



B qualche punto distante come la cima d' un colle. Sia l' arco BA la direzione di un raggio che viene da B in A; EB, EA le tangenti alle sue estremità; ed AG, BF perpendicolari a CB. Per quanto alto il colle B possa essere, questo è nulla, quando lo si paragoni con CA raggio della terra: conseguentemente AB differisce così poco da AD, che gli angoli AEB ed ACB sono supplementari l' uno all' altro; cioè tutti e due presi insieme sono eguali a 180°. ACB è chiamato l' angolo orizzontale. Ora BAH è l' altezza reale di B, ed EAH la sua altezza apparente; quindi la rifrazione innalza l' oggetto B per l' angolo EAB sopra la sua reale posizione. Di nuovo la reale depressione di A, quando è veduto da B è FBA, mentre la sua depressione apparente è FBE, così EBA è dovuto alla rifrazione. L' angolo FBA è eguale alla somma degli angoli BAH ed ACB; cioè la vera elevazione è eguale alla vera depressione e all' angolo orizzontale. Ma la vera elevazione è eguale all' elevazione apparente diminuita dalla rifrazione; e la vera depressione è eguale all' apparente depressione accresciuta dalla rifrazione. Quindi il doppio della rifrazione è eguale all' angolo orizzontale aumentato dalla differenza tra l' apparente elevazione e l' apparente depressione.

Nota 193, pag. 193. — La figura 52 rappresenta il fenomeno in questione. SP è il vascello reale con le sue imagini rovesciata e diritta ve-

Fig. 52.



dute nell' aria. Se non vi fosse qui nessuna rifrazione, i raggi verrebbero dal vascello SP all' occhio E nella direzione di linee rette; ma a motivo della densità variabile degli strati inferiori dell' atmosfera, i raggi sono piegati nelle linee curve P*c*E, P*d*E, S*m*E, S*n*E. E poichè un oggetto è

veduto nella direzione della tangente a quel punto del raggio che incontra l'occhio, il punto P del reale vascello è veduto in *p* e *p'*, ed il punto S sembra essere in *s* ed *s'*; e siccome tutti gli altri punti sono trasportati nella stessa maniera, si formano delle imagini dirette ed invertite del vascello nell'aria al di sopra di lui.

Nota 194, pag. 193. — La fig. 53 rappresenta la sezione d'un attizzatoio, con la rifrazione prodotta dall'aria calda che lo circonda.

Nota 195, pag. 196. *Lo spettro solare.* — Un raggio del sole in S, fig. 54, introdotto in una camera oscura per un piccolo buco tondo H fatto

Fig. 53.

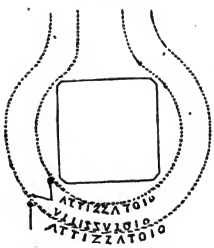
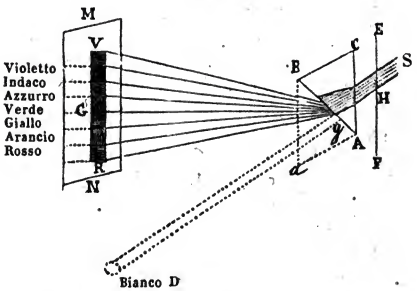


Fig. 54.



in una imposta di finestra, procede in linea retta ad un diaframma D, sul quale egli imprime una macchia lucida circolare di luce bianca di quasi lo stesso diametro del buco H. Ma quando l'angolo rifrangente B A C d'un prisma di vetro si ritrova interposto così, che il raggio solare cada sulla prima faccia A C del prisma, ed emerga dalla seconda superficie A B ad angoli eguali, questo fa che i raggi deviano dal cammino dritto S D, e si pieghino verso il diaframma M N, dove essi formano un'imagine colorata V R del sole della stessa larghezza del diametro del foro H, ma molto più lunga. Lo spazio V R consiste di sette colori: violetto, indaco, azzurro verde, giallo, arancio e rosso. Il violetto ed il rosso essendo rispettivamente il più e il meno rifrangibile dei raggi, sono alle estremità, ed il verde occupa il mezzo in G. L'angolo D *g* G è chiamato la media *deviazione*, e lo spandersi de' raggi colorati sopra l'angolo V *g* R la *dispersione*. La deviazione e la dispersione variano coll'angolo di rifrazione B A C del prisma, e con la sostanza della quale questo si compone.

Nota 196, pag. 204. Sotto le stesse circostanze, e dove gli angoli di rifrazione dei due prismi sono eguali, gli angoli D *g* G e V *g* H, fig. 54, sono maggiori pel *flint-glass* che pel *crown-glass* Ma siccome essi variano coll'angolo del prisma, è solo necessario di accrescere l'angolo di rifrazione del prisma di *crown-glass* d'una certa quantità, per produrre quasi la stessa deviazione e dispersione del prisma di *flint-glass*. Quindi, quando

i due prismi sono situati col loro angoli rifrangenti in direzioni opposte come nella fig. 54, essi approssimativamente neutralizzano gli effetti l'un dell'altro, e rifrangono un raggio di luce senza risolverlo ne' suoi elementari raggi colorati. Sir David Brewster è venuto alla conclusione che vi può essere rifrazione senza colore per mezzo di due prismi o due lenti, quando sieno aggiustate debitamente, sebbene essi siano fatti della stessa sorta di vetro.

Nota 197, pag. 204. — Il vetro obbiettivo d'un telescopio aeromatico si compone d'una lente convessa A B, fig. 55, di *crown-glass*, situata all'esterno verso l'oggetto e d'una lente concavo-convessa C D di *flint-glass*, situata dalla parte dell'occhio. La lunghezza focale di una lente è la distanza del suo centro dal punto in cui i raggi convergono come in F nella fig. 60, Se, allora, le lenti A B e C D siano costruite in modo che le loro lunghezze focali siano nella stessa proporzione come i loro poteri dispersivi, esse rifrangeranno i raggi luminosi senza colore.

Fig. 55.

Nota 198, pag. 207. — Se l'angolo medio di rifrazione del prisma D*g* G, fig. 54, fosse lo stesso per ogni sostanza; allora la differenza D*g* V — D*g* R sarebbe la dispersione. Ma l'angolo del prisma essendo lo stesso, tutti questi angoli sono differenti in ogni sostanza così, che per ottenere la dispersione di qualche sostanza, l'angolo D*g* V — D*g* R deve esser diviso per l'angolo D*g* G o il suo eccesso sopra l'unità, al quale la media rifrazione è sempre proporzionale. Secondo Fraunhofer la rifrazione dell'estremo violetto e del raggio rosso nel *crown-glass* è 1,5466 ed 1,5258; così D*g* V — D*g* R = 1,5466 — 1,5258; = ·0208, e la metà della somma dell'eccesso di ciascuno sopra l'unità è = ·5362: per conseguenza

$$\frac{Dg\,V - Dg\,R}{Dg\,G} = \frac{\cdot 0208}{\cdot 5362} = 0{\cdot}03879;$$ pel diamante

$$\frac{Dg\,V - Dg\,R}{Dg\,G} = \frac{2{\cdot}467 - 2{\cdot}411}{1{\cdot}439} = 0{\cdot}0389;$$

così che il poter dispersivo del diamante è poco meno che quello del *crown-glass*; quindi i colori rifratti splendidi che distinguono il diamante da ogni altra pietra preziosa non derivano dal suo alto poter dispersivo, ma dalla sua media rifrazione. — D. Brewster.

Nota 199, pag. 211. — Se un fascio di luce solare, dopo essere passato per il vetro colorato V V′, fig. 56, entra in una camera oscura per due piccole fessure O O′ in una carta, o in un pezzo di latta, esse producono fascie alternativamente lucide e nere sopra un diaframma S S′ ad una piccola distanza. Se o l'una o l'altra delle fessure O O′ è chiusa, la fascia nera svanisce ed il diaframma è illuminato da una luce uniforme, provando che

le fascie nere sono prodotte dalla interferenza delle due serie di raggi. Di nuovo sia II*m*, fig. 57, un raggio di luce bianca che passa per un foro

Fig. 56.

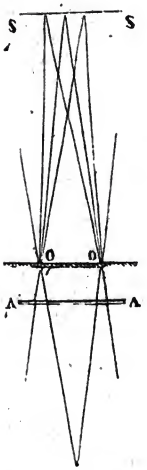
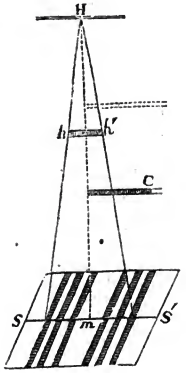


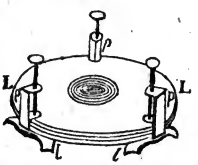
Fig. 57.



in II, fatto con un ago fine in un pezzo di piombo o di carta, e ricevuto sopra un diaframma SS'. Quando un capello o una piccola striscia di carta *h h'*, larga circa la trentesima parte d'un pollice, è tenuta nel fascio solare, i raggi si piegano attorno da ciascun lato di lei, ed arrivando al diaframma in differenti stati di vibrazione, si interferiscono e formano una serie di frange colorate all'uno e all'altro lato d'una fascia centrale bianca *m*. Se un pezzo di carta è interposto in C da intercettare la luce che passa su d'un lato del capello, le frange colorate svaniscono. Se la luce omogenea è adoperata, le frange sono più larghe nel rosso e diventano più strette per ogni colore dello spettro progressivamente al violetto, che presenta le frange più strette e più affollate. Questi esperimenti elegantissimi sono dovuti al Dott. Thomas Young.

Nota 200, pag. 213. — La fig. 58 rappresenta gli anelli di Newton dei quali ve ne sono sette, formati collo serrare insieme con vite due lenti di vetro. Purchè la luce incidente sia bianca, essi si succedono sempre l'un l'altro nell'ordine seguente: primo anello o primo ordine di colori: nero, azzurro debolissimo, bianco brillante, giallo, arancio, rosso. Secondo anello: porpora oscuro o meglio violetto, azzurro, verde giallastro pallidissimo, giallo debole, rosso

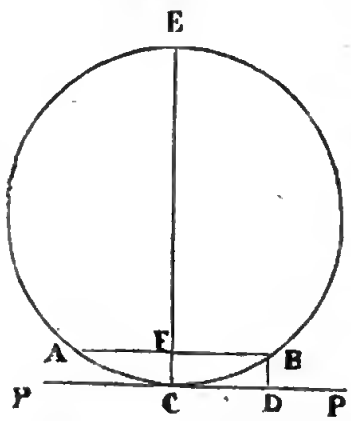
Fig. 58.



cremisi. Terzo anello: porpora, azzurro verde d'erba acceso, giallo lucente carnato, cremisi. Quarto anello: verde oscuramente azzurriccio, incarnato pallido, giallo, rosso. Quinto anello: verde pallidamente azzurriccio, bianco, incarnato. Sesto anello: verde pallidamente azzurro, incarnato pallido. Settimo anello: verde azzurriccio pallidissimo, incarnato pallidissimo. Dopo i sette ordini, i colori diventano troppo deboli per essere distinti. Gli anelli diminuiscono in larghezza, e i colori diventano più affollati insieme come essi si allontanano dal centro. Quando la luce è omogenea, gli anelli i più larghi sono nel rosso e decrescono in larghezza con ogni successivo colore dello spettro fino al violetto.

Nota 201, pag. 216. — L'assoluta grossezza dello strato d'aria tra i vetri è stata ritrovata come segue: Sia AFBC, fig. 59, la sezione d'una lente che giace sopra un piano o lastra di vetro PP', veduta pel taglio, e sia EC il diametro della sfera di cui la lente è segmento. Se AB sia il diametro di un anello di Newton, e BD parallelo a CE; allora BD o CF è la grossezza dell'aria che li produce. EC è una quantità nota, e quando AB, il diametro, è misurato col compasso, BD o FC può essere calcolato. Newton trovava che la lunghezza di BD, corrispondente alla parte più oscura del primo anello, è la 98000ma parte d'un pollice, quando i raggi cadono perpendicolarmente sulle lenti, e da questo egli deduceva la grossezza corrispondente ad ogni colore nel sistema degli anelli. Ogni colore dello spettro solare, essendo fatto passare successivamente sulle lenti, Newton determinava ancora la grossezza dello strato aereo corrispondente ad ogni colore, dalla larghezza degli anelli, che sono sempre dello stesso colore colla luce omogenea.

Fig. 59.



Nota 202, pag. 216. — La lunghezza focale, o distanza d'una lente, è la distanza dal suo centro al punto F, fig. 60, nel quale i raggi refratti s'incontrano. Sia LL' una lente di brevissima distanza focale fissata in una imposta di finestra d'una camera buia. Un raggio di luce solare SLL' passando per la lente sarà portato al foco in F, quindi egli divergerà nelle linee FC, FD, e formerà un'imagine circolare di luce sull'opposto muro. Supponiamo che una foglia di piombo con un piccolo foro d'ago sia situato in questo raggio; se il piccolo foro è guardato dal di dietro con una lente in E, egli è circondato da una serie di anelli colorati, che variano in apparenza con le relative posizioni del foro e dell'occhio rispetto a punto F. Quando il foro è la trentesima parte d'un pollice in diametro ed alla distanza di 6 1/2 piedi da F, se vien guardato dalla distanza di 24 pollici, vi sono sette anelli dei colori seguenti: — primo ordine: bianco, giallo pallido, giallo, arancio, rosso smorto. — Secondo or-

dine: violetto, azzurro, bianchiccio, giallo verdastro, giallo delicato, rosso ciato. — Terzo ordine: porpora, indaco, azzurro, bleu verdiccio, verde brillante, verde giallastro, rosso. — Quarto ordine: verde azzurrognolo, bianco-azzurrognolo rosso. — Quinto ordine: verde smorto, bianco turchiniccio

Fig. 60.

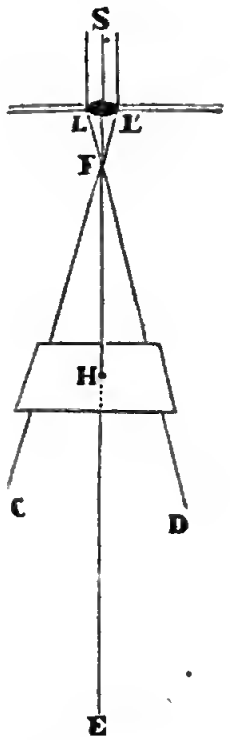


Fig. 61.

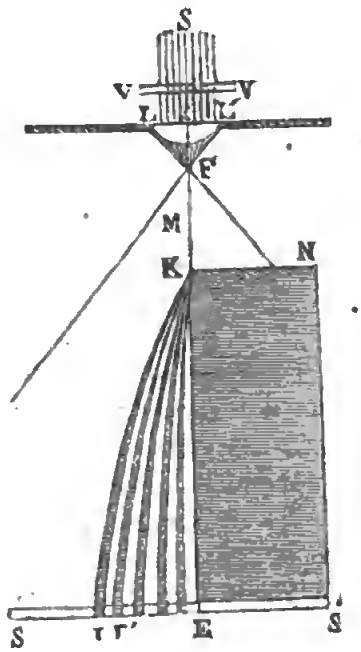


Fig. 62.

sbiadito, rosso sbiadito. — Sesto ordine: verde sbiaditissimo, rosso sbiaditissimo. — Settimo ordine: una traccia di verde e di rosso.

Nota 203, pag. 220. — Sia L L', fig. 61, la sezione della lente situata in una imposta di finestra, attraverso la quale passa un piccolissimo raggio di luce S L L' in una camera all' oscuro, ed arriva ad un foco F. Se il taglio di un coltello K N è tenuto attraverso il raggio, i raggi inclinano lungi da lui nelle curve iperboliche K *r*, K *r'* ec., invece di arrivare direttamente al diaframma nella retta K E, che è il confine dell' ombra. Siccome questi raggi inclinantisi arrivano al diaframma in stati differenti di ondulazione, essi interferiscono, e formano una serie di frange colorate, *r r'* ec., lungo il taglio dell' ombra K E S N del coltello. Le frange variano in larghezza con le relative distanze del taglio del coltello e del diaframma da F.

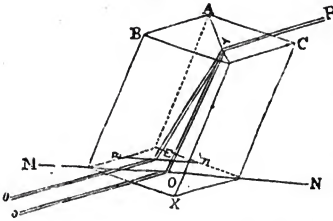
Nota 204, pag. 223. — La fig. 43 rappresenta i fenomeni in questione dove S S è la superficie, ed I il centro delle onde incidenti. Le onde riflesse sono le linee oscure che ritornano verso L, le quali sono le stesse come se avessero avuto principio in C sull' altra faccia della superficie.

Nota 205, pag. 224. — La fig. 62 rappresenta un cristallo prismatico

di tormalina, il cui asse è A X. Le fette che si usano per la polarizzazione della luce sono tagliate parallelamente a A X.

Nota 206, pag. 225. *Rifrazione doppia.* — Se un raggio di luce, R r, fig. 63, cade sopra un romboedro di spato d' Islanda A B X C, egli è separato in due eguali raggi di luce in r, che sono rifratti nelle direzioni r O, r E: quando questi arrivano in O ed in E sono di nuovo rifratti e passano nell' aria secondo le direzioni O o, E o, paralleli l'uno all' altro e al raggio incidente R r. Il raggio r O è rifratto conforme la legge ordinaria, cioè che i seni degli angoli di incidenza e di rifrazione portano una ragione costante l'uno all' altro (vedi la nota 184) ed i raggi R r, r O, O o, sono tutti nello stesso piano. Il raggio r E al contrario è inclinato da un lato fuori di quel piano, e la sua rifrazione non segue la ragione costante dei seni; r E è per questo chiamato il raggio straordinario, ed r O il raggio ordinario. In conseguenza di questa bisezione della luce, una macchia d' inchiostro in O si vede doppia in O ed in E, quando è veduta da r I; e quando il cristallo è girato in tondo, l' imagine E gira attorno O, che rimane stazionario.

Fig. 63.



Nota 207, pag. 227. — I due raggi paralleli O o ed E o, fig. 63, sono polarizzati nel lasciare il cristallo rifrangente, ed in ambedue le particelle della luce fanno le loro vibrazioni ad angoli retti alle linee O o, E o. Nell' uno, peraltro, queste vibrazioni giacciono, per esempio, nel piano dell' orizzonte, mentre le vibrazioni dell' altro giacciono nel piano verticale, perpendicolare all' orizzonte.

Nota 208, pag. 228. — Se la luce è fatta cadere in varie direzioni sulle facce naturali di un cristallo di spato d' Islanda o sopra facce tagliate e ripulite artificialmente, fig. 63, si ritroverà una direzione A X, lungo la quale la luce passa senza essere divisa in due raggi. A X è l' asse ottico. In alcune sostanze vi sono due assi ottici che formano un angolo l' uno con l' altro. L' asse ottico non è una linea fissa, egli è solo una direzione fissa; perocchè se un cristallo di spato d' Islanda sia diviso in cristalli più piccoli, ciascuno avrà il proprio asse: ma se tutti questi pezzi siano posti insieme di nuovo, gli assi ottici loro saranno paralleli ad A X. Ciascuna linea, per questo, dentro il cristallo parallela ad A X è un asse ottico: ma siccome queste linee hanno tutte la stessa direzione, il cristallo vien sempre detto non avere che un asse ottico.

Nota 209, pag. 229. — Se I C, fig. 48, sia l' incidente, e C S il raggio

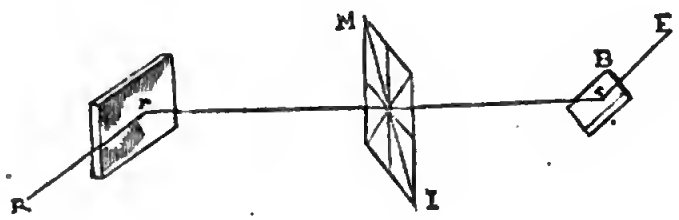
riflesso, allora le particelle della luce polarizzata fanno le loro vibrazioni ad angoli retti al piano della carta.

Nota 210, pag. 230. — Sia AA, fig. 48, la superficie del riflettore, IC il raggio incidente, e CS il riflesso; allora, se l'angolo SCB sia di 57°, e conseguentemente l'angolo PCS eguale a 33°, la macchia oscura sarà veduta in C da un occhio situato in S.

Nota 211, pag. 231. — Sia AB, fig. 48, una superficie riflettente, IC il raggio incidente e CS il riflesso; allora, se la superficie sia una lastra di vetro, l'angolo SCB deve essere di 57°, perchè CS possa essere polarizzato. Se questa superficie è *crown-glass* od acqua, l'angolo SCB deve essere 56° 55′ pel primo, e 53° 11′ per la seconda per dare un raggio polarizzato.

Nota 212, pag. 233. — Un apparecchio polarizzante è rappresentato nella fig. 64, dove R*r* è un raggio di luce che cade sopra un pezzo di

Fig. 64.



vetro *r* ad un angolo di 57°: il raggio riflesso *r*S è quindi polarizzato, e può essere guardato attraverso un pezzo di tormalina in *s*, o può essere ricevuto sopra un'altra lastra di vetro B, la cui superficie è ad angoli retti alla superficie di *r*. Il raggio *r*S è di nuovo riflesso in S ed arriva all'occhio nella direzione SE. La lastra di mica MI, o d'una sostanza che è da esaminarsi, viene situata tra i punti *r* ed *s*′.

Nota 213, pag. 233. — Per vedere queste figure, il raggio polarizzato *r s*, fig. 64, deve passare per l'asse ottico del cristallo che deve essere vicino più che sia possibile ad *s* da un lato, e l'occhio situato vicino più che si può in *s* dall'altro lato. La fig. 65 dimostra l'imagine formata da un cristallo di spato d'Islanda che ha un asse ottico. I colori negli anelli sono esattamente gli stessi di quelli degli anelli di Newton dati nella nota 194, e la croce è nera. Se lo spato vien girato attorno il suo asse, gli anelli non soffrono nessun cangiamento; ma se la tormalina a traverso la quale egli è veduto, o la lastra di vetro B, è girata in tondo, questa figura sarà veduta ad angoli 0°, 90°, 180° e 270° della sua rivoluzione. Ma nei punti intermedi, cioè agli angoli 45°, 135°, 225°, 315°, un altro sistema comparirà, rappresentato nella figura 66, dove tutti i colori degli anelli

sono complementari a quelli della fig. 65, e la croce è bianca. I due sistemi di anelli, se fossero soprapposti, produrrebbero la luce bianca.

Fig. 65.

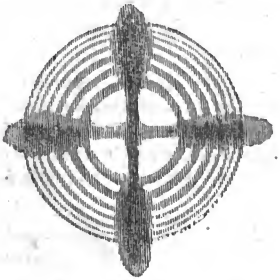


Fig. 66.

Nota 214, pag. 236. — Il sale di pietra o nitro cristallizza in prismi a sei facce che hanno due assi ottici inclinati l'uno all'altro ad un angolo di 2°. Una fetta di questa sostanza grossa di circa la sesta o l'ottava parte d'un pollice, tagliata perpendicolarmente all'asse del prisma, e situata vicinissima ad *s*, fig. 64, in modo che il raggio polarizzato *r s* possa passarla attraverso, rappresenta il sistema degli anelli della fig. 67,

Fig. 67.

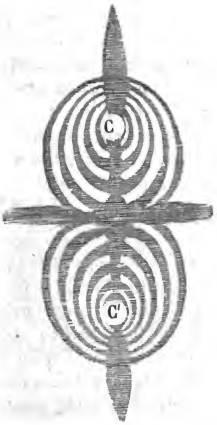
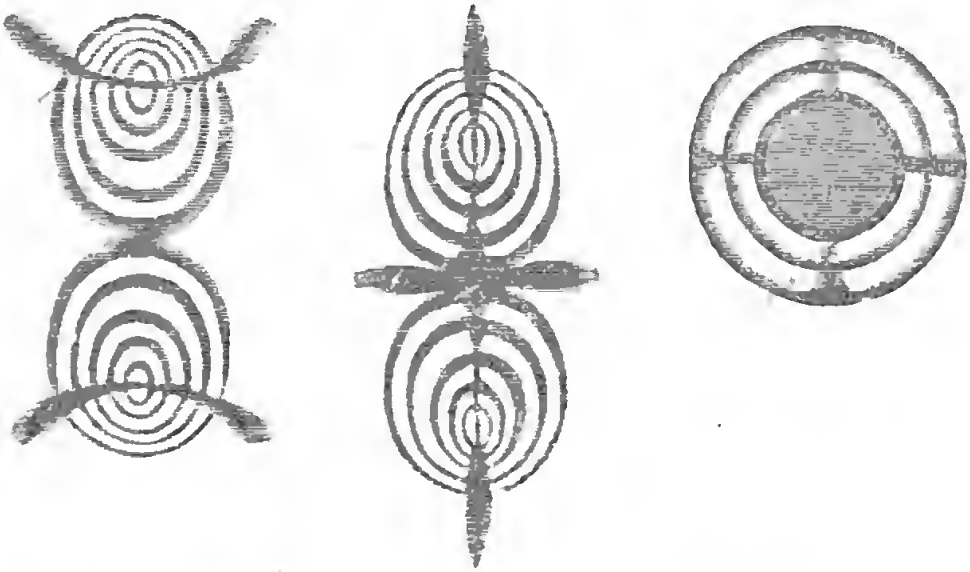


Fig. 68.

dove i punti C C' indicano la posizione degli assi ottici. Se la lastra B, fig. 64, vien attorno, l'imagine cangiasi successivamente in quelle date

nelle fig. 68, 69 e 70. I colori degli anelli sono gli stessi di quelli d'una lamina sottile; ma variano con la grossezza del nitro. La loro larghezza s'ingrandisce o diminuisce ancora col calore, quando si adopera la luce omogenea.

Fig. 69. *Fig.* 70. *Fig.* 71.



Nota 215, pag. 229. — La fig. 71 rappresenta l'apparenza prodotta mettendo una lamina di cristallo di rocca nel raggio polarizzato *r s*, fig. 64. Il colore uniforme nell'interno dell'imagine dipende dalla grossezza di questa lamina: ma qualunque possa essere il colore, egli alternativamente arriverà al massimo della lucentezza, e svanirà colla rivoluzione del vetro B. Si può osservare che le due qualità di quarzo o cristallo di rocca, menzionati nel testo, sono combinate nell'ametista, che si compone di strati alternativi di quarzo destrorso e sinistrorso, i piani dei quali sono paralleli all'asse del cristallo.

Nota 216, pag. 241. — Supponiamo che l'asse maggiore A P di un'ellisse, fig. 18, sia invariabile, ma l'eccentricità C S diminuisca continuamente; l'ellisse si gonfierebbe di mano in mano sempre più, e quando C S svanisce, diventerebbe un cerchio, il cui diametro è A P. Di nuovo, se l'eccentricità fosse continuamente crescente, l'ellisse sarebbe più e più appianata sino a che C S fosse eguale a C P, e allora diventerebbe una linea retta A P. Il cerchio e la linea retta sono per questo i limiti d'un'ellisse.

Nota 217, pag. 281. — Gli anelli colorati sono prodotti dall'interferenza di due raggi polarizzati in differenti stati di ondulazioni, dietro il principio dichiarato per la luce comune.

Nota 218, pag. 311. — Secondo l'ipotesi di Joule, che il calore è prodotto pel moto, e che esso sia equivalente a questo, Thompson di Glascovia

investiga da dove il sole tragga il suo calore; poichè egli dimostra che nè la combustione nè il suo primitivo calore potrebbe aver supplito alla grande durata di 6000 anni. Egli conclude che il calore solare è mantenuto da miriadi di piccoli corpi che girano all' orlo della sua densa nebulosità o atmosfera, alcuni dei quali sono spesso veduti da noi come stelle cadenti. Questi evaporizzati pel suo calore, e tirati dalla sua attrazione, s' incontrano con forte resistenza all' entrare nella atmosfera solare come una scossa di pioggia meteorica; in mezzo a quella discendono secondo linee spirali alla superficie del sole producendo un enorme calore per la confricazione durante la loro caduta, e servendo di riscaldamento al loro arrivo.

Nota 219, pag. 317. — La classe *Criptogamia* contiene le felci, i muschi, i funghi, l' alghe marine, in tutte le quali specie le parti dei fiori sono o poco noti o troppo minuti per essere evidenti.

Nota 220, pag. 318. — I zoofiti sono gli animali che formano le madrepore, i coralli, le spugne ec.

Nota 221, pag. 332. — I sauriani sono esseri del genere lucertola o cocodrillo. Alcuni di questi, ritrovati in uno stato fossile, sono di enorme grandezza.

Nota 222, pag. 344. — Se il calore che viene da una sorgente non luminosa sia polarizzato per riflessione o rifrazione in *r*, fig. 64, il raggio polarizzato *r s* sarà impedito o trasmesso per una lastra di mica M I, sotto le stesse circostanze che impedirebbero o trasmetterebbero la luce; e se il calore fosse visibile, analoghe imagini a quelle delle fig. 65, 67 ec. sarebbero vedute al punto *s*.

Nota 223, pag. 392. — Il peso-base o l'unità della forza meccanica stabilita da Joule, è la forza che alzerebbe una libbra di materia all' altezza d' un piede; essa è la spinta o la forza generata da un corpo del peso d' una libbra che cade per la sua gravità dall' altezza d' un piede. La spinta, la forza viva, è eguale alla massa d' un corpo, moltiplicata per il quadrato della velocità colla quale esso si muove, ed è la vera misura dell' opera o lavoro. Perocchè, se un peso è alzato 10 piedi, richiederà quattro volte di fatica per innalzare un peso eguale 40 piedi. Se questi due pesi si facciano discendere liberamente per la loro gravità, alla fine della loro caduta saranno le loro velocità come 1 a 2: cioè come la radice quadrata della loro altezza: ma l' *effetto prodotto* sarà come le loro masse moltiplicate per 1 e 4; ma questi sono i quadrati delle velocità loro: quindi la spinta o la forza viva è come la massa al quadrato della velocità. Questa spinta è la vera misura del lavoro impiegato ad alzare i pesi, e dell' *effetto* della loro discesa, ed è del tutto indipendente dal tempo. Ora il calore è proporzionale alla spinta, e la spinta è la vera misura del lavoro. Nella percussione il calore svolto è in proporzione alla forza della spinta, ed è così misurato dal lavoro.

Il *lavoro* è una parola usata in meccanica ad esprimere che il *lavoro fatto* è eguale alla forza impiegata lavorando. L' opera fatta può essere

resistenza superata o qualche altro effetto prodotto, mentre la forza lavoratrice può essere un cavallo, una macchina a vapore, il vento, una caduta d'acqua ec.

Nota 224, pag. 394. — Quando una corrente d'elettricità positiva discende da P ad *n*, fig. 72, in un filo metallico verticale ad angoli retti al piano del cerchio orizzontale A B, l'elettricità negativa ascende da *n* a P, e la forza esercitata dalla corrente fa che il polo nord d'una calamita giri attorno al filo nella direzione della testa della freccia nella circonferenza, e questo fa che il polo sud giri nell'opposta direzione. Quando la corrente dell'elettricità positiva scorre all'in su da *n* a P, questi effetti sono rovesciati.

Nota 225, pag. 397. — La figura 73 rappresenta un elice o una spirale

Fig 72.

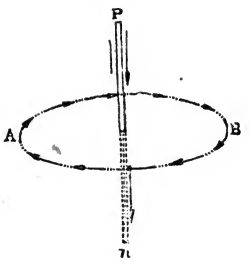
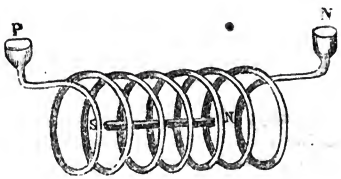


Fig. 73.



di filo di rame terminata da due coppe che contengono un poco di mercurio. Se il filo positivo d'una batteria voltaica è immerso nella coppa *p*, ed il filo negativo nella coppa *n*, il circuito è completo. Il mercurio garantisce la connessione tra la batteria e l'elice, trasportando l'elettricità dall'una all'altra: mentre l'elettricità scorre per l'elice, la calamita S N rimane sospesa dentro a lei, ma cade giù al momento che quella cessa. La calamita rivolge sempre il suo polo sud S verso P, il filo positivo della batteria, ed il suo polo nord verso il filo negativo.

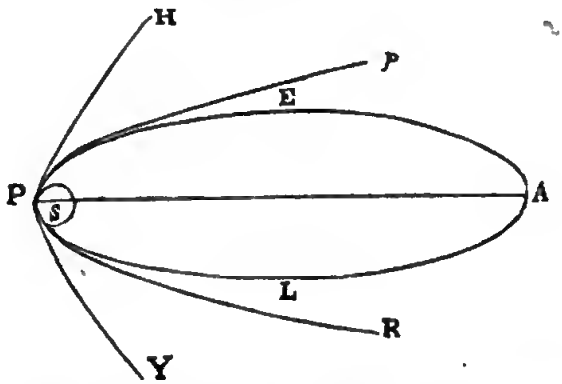
Nota 226, pag. 431. — Un filo di rame ad elice condotto nella forma della fig. 73 è un cilindro elettro-dinamico. Quando le sue estremità P ed *n* sono connesse coi poli negativo e positivo d'una batteria voltaica, ei diventa una perfetta calamita durante il tempo che una corrente di elettricità scorre attraverso a lui, P ed *n* essendo i suoi poli nord e sud.

Nota 227, pag. 451. — Si deve ad Halley la prima carta di declinazione e la teoria dei quattro poli di massima intensità magnetica, dopo confermati dalla osservazione, come pure i primi valori autentici dei magnetici elementi di Londra e di Sant'Elena, ove egli andò col proposito di fare delle osservazioni sul magnetismo terrestre. Dopo quel tempo

Gauss fece delle carte delle linee magnetiche, e pubblicò una teoria che molto da vicino rappresenta lo stato magnetico del globo. La massa di osservazioni che giornalmente si fanno dagli incrociatori e dalla commissione del Governo inglese in ogni parte della terra è enorme.

Nota 228, pag. 456. — Nella fig. 74 l'iperbole H P Y, la parabola *p* P R e l'ellisse A E P L hanno la stessa distanza focale S P, e coincidono per

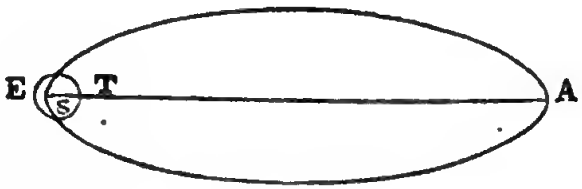
Fig. 74.



un piccolo spazio sopra ogni lato del perielio P; e siccome una cometa è solo visibile, quando è vicina a P, è difficile assicurare per quale delle tre curve ella si muova.

Nota 229, pag. 481. — Nella fig. 75, E A rappresenta l'orbita della

Fig. 75.



cometa d'Halley, E T l'orbita della terra, ed S il sole. Le proporzioni sono quasi esatte.

Nota 230, pag. 487. — La figura 74 rappresenta le curve di cui si tratta. Egli è evidente che per la stessa distanza focale S P non vi può essere che un solo cerchio ed una parabola *p* P R, ma che vi può essere una infinità d'ellissi tra il cerchio e la parabola, ed una infinità d'iperbole H P Y esteriori alla parabola *p* P R.

Nota 231, pag. 490. — Sia A B, fig. 26, il diametro dell'orbita terrestre, e suppongasi che una stella sia veduta nella direzione A S' dalla terra, quando è in A. Sei mesi dopo, la terra essendosi mossa per la metà della sua orbita, arriverebbe in B, e allora la stella apparirebbe nella direzione B S', se il diametro A B, come è veduto da S', avesse una grandezza

sensibile. Ma AB, che è di 190,000,000 di miglia, non comparisce essere maggiore della grossezza del filo d'un ragno, come è veduto dalla 61 del Cigno, supposta essere la stella fissa la più vicina.

Nota 232, pag. 501. — Stelle la cui parallasse e i nomi propri sono conosciuti.

Nome delle stelle.	Moto proprio.	Parallasse.	Osservatori o Calcolatori.
α del Centauro	3″·764	0″·92	Maclear.
»		1″	Henderson.
61 del Cigno	5″·123	0″·374	Bessel.
α della Lira	0″·364	0″·207	Peters.
Sirio	1″·234	0″·230	Henderson.
Arturo	2″·269	0″·127	Peters.
Stella polare	0″·035	0″·106	Peters.
Capella		0″·046	Peters.
La Capra	0″·461	0″·046	Peters.
ι della Grande Orsa.	0″·746	0″·133	Peters.

Lo spazio scorso in un secondo da queste stelle è pertanto

α del Centauro	5 leghe	Henderson e Maclear.
61 del Cigno	10 leghe	Bessel.
α della Lira	2 leghe	Struve e Peters.
Sirio	6 leghe	Henderson e Maclear.
Arturo	22 leghe	Peters.
Stella polare	1/2 lega	Lindenau e Struve.
La Capra	12 leghe	Peters.
ι della Grande Orsa	7 leghe	Peters.

Vi sono tre grandi differenze nella parallasse della stella Argelander o 1830 Groombridge. Otto Struve la fa 0″·034, il che le dà una velocità di 251 leghe per secondo; mentre Faye ritrova la parallasse essere tra 0″·03 e 0″·01, ciò che fa la sua velocità da 30 a 85 leghe per secondo.

Queste sono tutte le velocità minimum, perchè noi possiamo solo determinare sulla volta celeste una proiezione forse molto abbreviata sui reali moti delle stelle.

Nota 232 *bis*, pag. 501, 504. — I seguenti sono i sistemi binari le cui orbite sono state accuratamente determinate:

Nome delle stelle	Periodo in anni	Passaggio al Perielio	Calcolatori
ζ Ercole	30·216	1831·41	Madler.
η Corona	42·500	1807·21	Madler.
ζ Cancro	58·910	1853·37	Malder.
ξ Orsa Maggiore	58·262	1817·25	Savary.
ω Leone	82·533	1849·76	Villarceaux.

Nome delle stelle	Periodo in anni	Passaggio al Perielio	Calcolatori
p Ofiuco	73·862	1806·83	Encke.
3062 del Catalogo di Dorpat	94·765	1837·41	Madler.
ξ Boote	117·140	1779·88	Sir J. Herschel.
δ Cigno	178·700	1862·87	Hind.
γ Vergine	182·120	1836·43	Sir J. Herschel.
Castore	252·660	1855·83	Sir J. Herschel.
σ Corona	736·880	1826·48	Hind.
γ Vergine	632·270	1699	Hind.
α Centauro	77·000	1851·50	Jacob.

Orbita di γ della Vergine

Passaggio al perielio	1835·40
Inclinazione	2° 3′
Posiz. del Nodo ascendente	19 7
Angolo fra la linea dei Nodi e gli apsidi	295°13
Eccentricità	0·8794
Periodo in anni	184·53

Orbita di ζ di Ercole.

Perielio	1830·56
Inclinazione	140° 30′
Posiz. del Nodo ascend	217°14′
Angolo tra la linea dei Nodi e gli apsidi	266·53
Eccentricità	0·4381
Periodo in anni	37·21

Calcolato da J. Fletcher, 1853.

Nota 233, pag. 508. — La massa è ritrovata nella maniera spiegata alla nota 173. Ma il metodo di calcolare la distanza delle stelle può essere fatto più chiaro da quello che segue. Sebbene l'orbita dell'astro satellite sia realmente ed apparentemente ellitica, sia ella rappresentata da CDO, fig. 14, per amore di chiarezza, essendo la terra in *d*. È chiaro, che quando la stella si move per CDO, la sua luce metterà più nel venire alla terra da O che da C, di tutto il tempo che ella mette nel passare per OC, larghezza della sua orbita. Se questo tempo è noto per l'osservazione, ridotto in secondi e moltiplicato per 190,000 che è il numero delle miglia che la luce percorre in un 1″, il prodotto sarà la larghezza dell'orbita in miglia. Da questa si otterranno le dimensioni dell'ellisse per mezzo dell'osservazione; la lunghezza e la posizione d'un diametro come S *p*, può essere ritrovato; e siccome tutti gli angoli del triangolo *d* S *p* possono essere determinati dall'osservazione, la distanza della stella dalla sfera può essere calcolata.

Nota 234, pag. 510. — I risultati medii di Argelander, O. Struve e Lulndal per le stelle nell'emisfero nordico, e l'epoca 1790, mettono il punto al quale il sole tende in 259°5′ di ascensione retta, e 55°23′ di distanza polare nord. Gallaway computò per mezzo delle stelle dell'emisferio australe, alla stessa epoca, essere stato il punto in 260°1′ d'ascensione vera e 55°37′ di distanza polare, risultato quasi identico, sebbene proveniente a ddiversissimi dati.

Nota 235, pag. 522. — Una delle nebulose globulari menzionate nel testo è rappresentata nella fig. 1, tavol. 5. Le stelle sono gradatamente condensate verso il centro, dove esse concorrono in uno splendore qualche poco simile ad una palla di neve. La parte più condensata è proiettata sopra un fondo di stelle, irregolarmente sparpagliate, che riempiono l'intiero campo del telescopio. Vi sono poche stelle nella vicinanza di questa nebulose.

Nota 236, pag. 529 (linea 24). — La tavola 8 dimostra 5 Nebulose come sono vedute nel telescopio di 20 piedi di J Herschel.

1. Un enorme anello veduto obbliquamente con un centro oscuro ed una piccola stella da ogni estremità
2. L'anello nella costellazione Lira.
3. La nebulosa nella Volpecola.
4. La nebulosa spirale o sistema gemino nel telescopio di 20 piedi.
5. La nebulosa a fuso.

La Tavola 9 rappresenta alcuno degli oggetti stessi veduto da lord Rosse.

1. La nebulosa nella corona d'Andromeda.
2. La nebulosa circolare della Lira.
3. La nebulosa nella Vulpecola.

Le Nebulose spirali di 51 Meissier come furono vedute da lord Rosse l. nella tav. 10 rappresentata dalla fig. 4 della tav. 8 e la fig. 2 della stessa tavola, è parte della grande Nebulosa in Orione; perchè tutta intera non è mai stata veduta a motivo della grandissima distanza.

Nota 237, pag. 538. — Il moto della terra è visibilmente dimostrato dagli esperimenti di Foncault. Se un pendolo si lasci oscillare liberissimamente, essendo le forze che producono l'oscillazione nel piano verticale, non vi è motivo che possano produrre una mutazione assoluta nella loro posizione rispetto allo spazio: ma il moto della terra cangia la posizione dello spettatore rispetto al piano verticale, ed egli riferisce il suo proprio moto a quello, che sembra gradatamente girar lungi dalla sua posizione; precisamente come una persona in battello riferisce il proprio moto a quello della terra, e così il moto della terra è veramente e visibilmente provato.

PLATE 1.

NAPOLI
BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE"

PLATE 2.

BIBLIOTECA NAZIONALE "VITTORIO EMANUELE"
NAPOLI

PLATE 3.

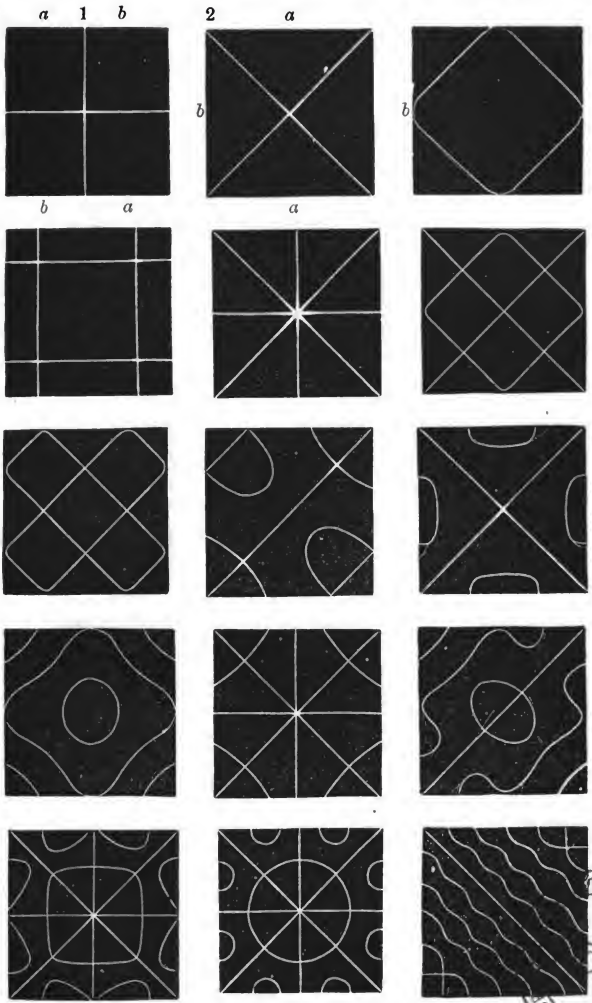
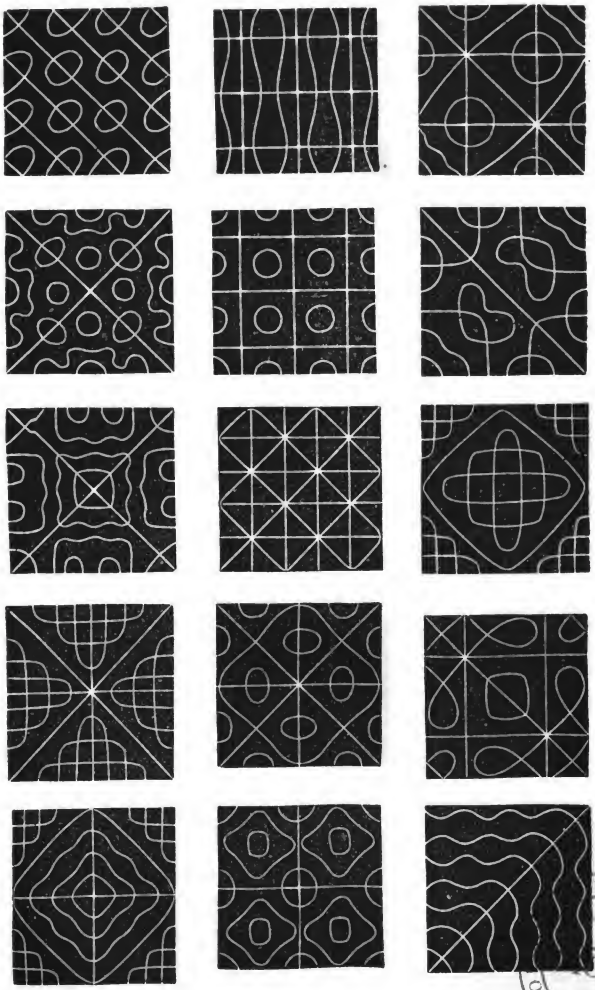


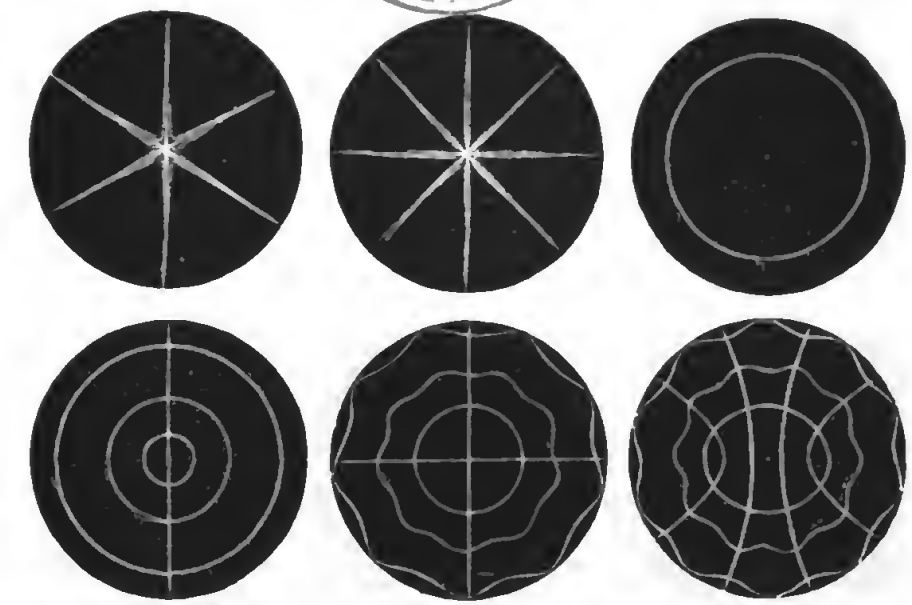
PLATE 4.

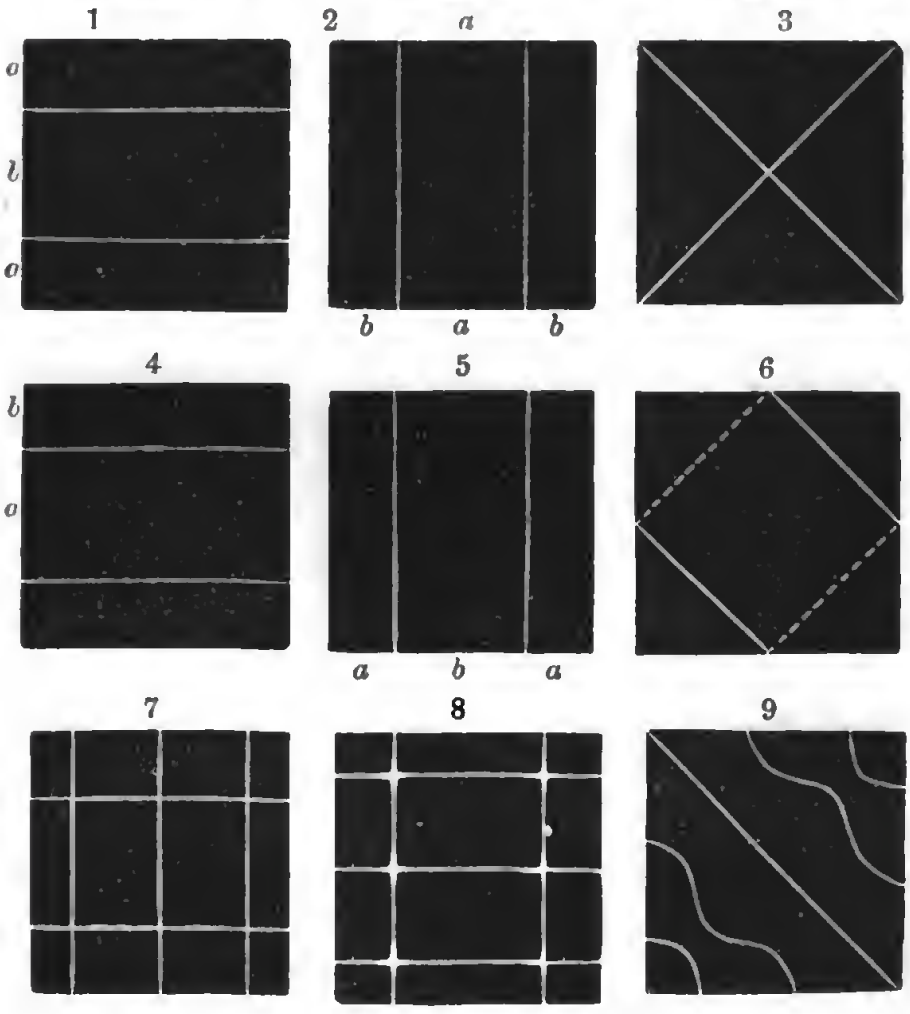


NAPO
NALE "VITTORIO

NAPOLI

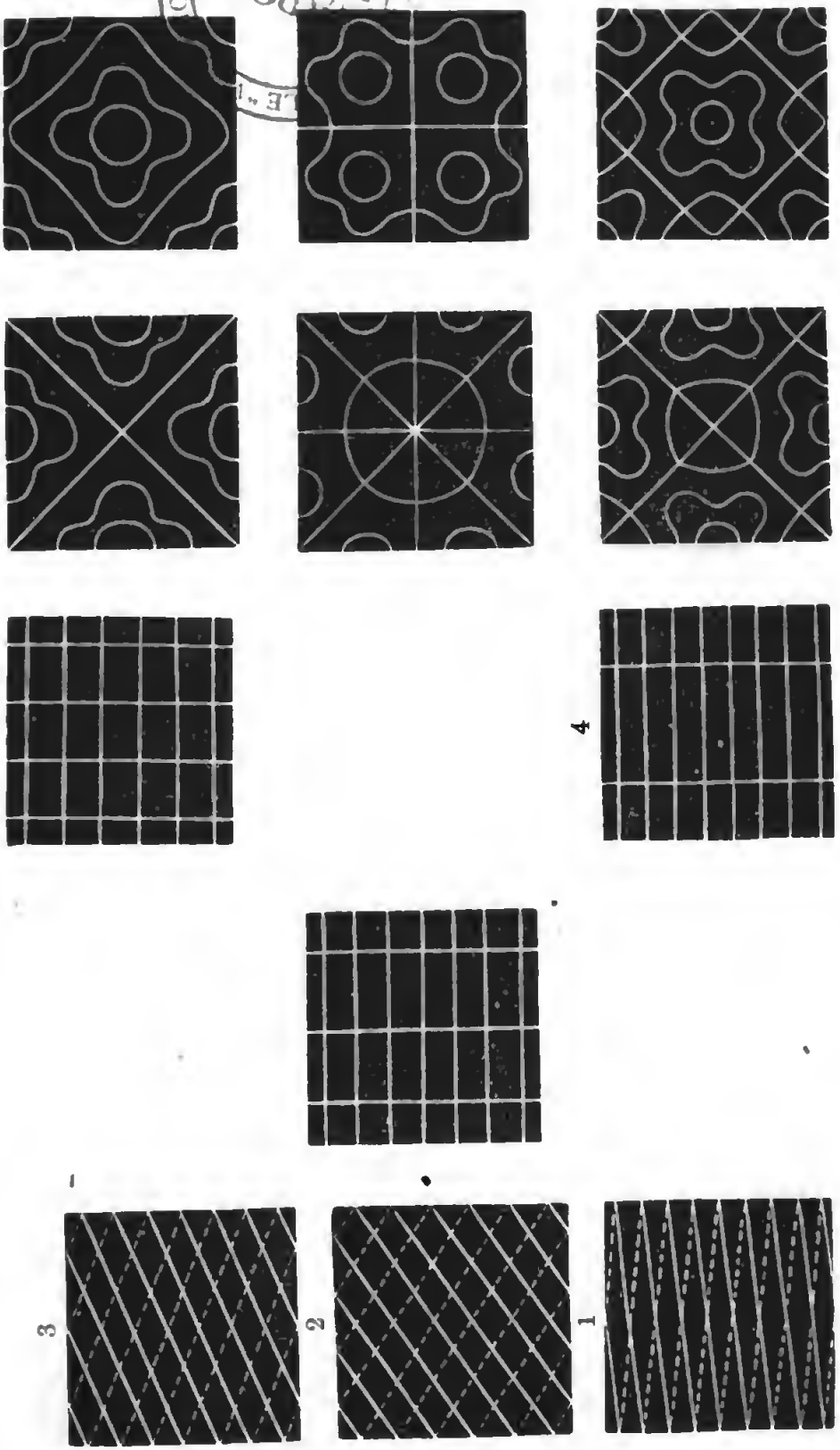
PLATE 5.



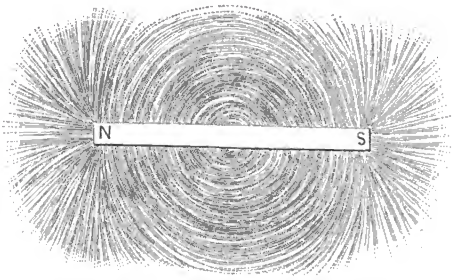


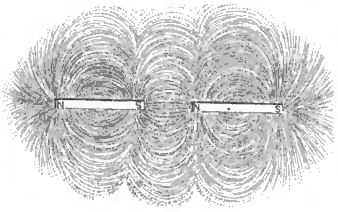
VITTORIO EMANUELE III BIBLIOTECA NAPOLI

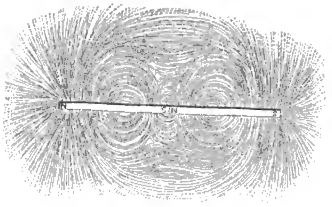
Plate 6.



Digitized by Google





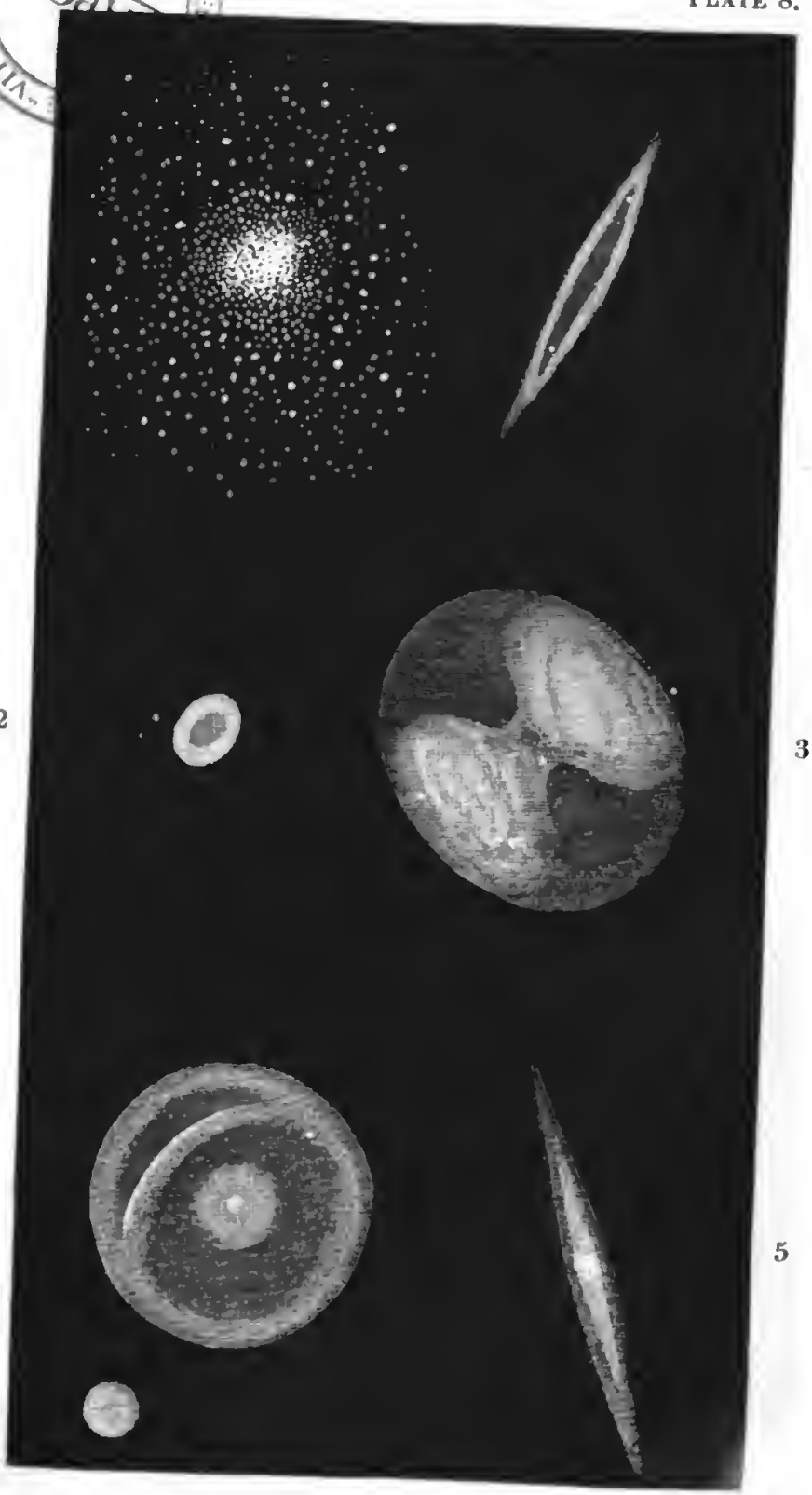


VITTORIO EMANUELE III" - BIBLIOTECA NAZIONALE "
NAPOLI

Queste corrispondono ai N. 1, 6 e 7 della Tavola di Faraday della sua 29ma Serie di Ricerche Sperimentali Elettriche.

VITTORIO EMANUELE III

PLATE 8.



1

2

3

4

5

VITTORIO

VITTORIO EMANUELE III - BIBLIOTECA

Fig. 1.

Nebulosa spirale della 51ma Meissier, come fu veduta da Lord Rosse.

Fig. 2.

Grande nebulosa di Orione.

INDICE.

A

Aberdeen, acqua alta ad, 116.
Acciaio, paramagnetismo ridotto nell', 427 — condizioni del magnetico potere per restare permanente nell', 422 — sua elasticità modificata dal magnetismo, *ivi*.
Accelerazione del moto medio della luce, 146.
Accordo, in musica, 176.
Acqua, parti costituenti dell', 139 — punto bollente dell'acqua, come stima dell'altezza delle montagne, 148 — come mezzo per il suono, 166 — luce polarizzata circolarmente dall', 241 — esperimento che decide la velocità della luce nell', 251 — legge d'espansione, *ivi* — processo di congelazione, 345 — punti bollenti dell', 347 — decomposta per l'elettricità, 386 — conduttore elettrico, 388 — ruota per elettricità, 393 — legge di espansione, 338.
Acquoso, vapore, proporzione nell'atmosfera, 144.
Adams, perturbazioni nel moto d'Urano calcolate da, 27 — scoperta di Nettuno, 79.
Areoliti, teoria degli, 530-533.
Afelio, definito dal cammino d'un pianeta, 19.
Affrica, marea passante, 115 — temperatura equatoriale media annua, 307 — produzioni indigene, 311.
Ago, magnetico, effetti di elettricità Voltaica, 391 — sospeso per elettricità, 394 — condizioni di sua deviazione per corrente elettrica, 397.
Airy, prof., disuguaglianza periodica nel sistema solare scoperta da, 32 — fenomeni osservati durante un eclisse da, 51 — massa di Giove accertata da, 70 — sperimenti accertanti la sua densità, 72 — tavole astronomiche perfezionate da, 80 — scoperte nella polarizzazione della luce, 239-240.
Aldebaran, stella doppia otticamente, 504.
Aleutiche, isole, la vegetazione delle, 314.
Alessandria, arco del meridiano misurato tra Syene e, 61.
Alghe, distretti di specie distinte di, 315, — banchi nell'Atlantico, 316.
— di mare, impressione fotografica, 255 — distribuzione, colore — altezza dell', 316.
Algole, fluttuazione in splendore di, 491.
Alhazen, effetti di rifrazione osservati da, 191.
Alkali, risoluti in ossidi metallici, 386.
Alpha Antaris, Sacca di carbone tra α Centauri e, 485.
— Aquilæ, stella doppia ottic., 504.
— Centauri, la parallasse di, 68 — suo rango, 483 — la via lattea vicina, 484 — parallasse come determinata da Henderson e Maclear, 487 — distanza dal sole, *ivi* — orbita e mossa di, 502 — colore, 504 — ammontare della luce emessa da, 509 — ragione del suo moto proprio, *ivi* — Gruppo nebuloso globulare, 522.
— Crucis, zona di stelle che passa per, 483 — zona tra η Argus e, 190 — Gruppo nebuloso tondo, 524.
— Lyræ, la stella polare dell'emisfero nordico, 102 — parallasse di, 488 — distanza dal sole, *ivi* — stella doppia otticamente, 504 — ammontare di luce emessa dalla, 508.
— Orionis, stella variabile, 495.
Alta marea, 119.

Alti-piani, influenza sull' atmosfera, 301.
Allume, sperimento sulla cristallizzazione dell', 132 — calore trasmesso per l', 326.
Amazzoni, il fiume delle, 121 — distanza dalla sua foce al luogo che le maree sono percettibili, *ivi* — area occupata dalle foreste sul, 304.
America, corso dell' onda della marea lungo le sue coste, 116-17 — temperatura media annua equatoriale in, 306 — separazione delle linee isotermiche nell'alte latitudini, 306 — numero di specie note di piante indigene nell', 311 — numero di specie d'alberi, 314 — stelle cadenti sopra il continente di, 533.
— Sud, area di paese alzato da un terremoto nell', 292.
Ampère, scoperta in elettricità d', 396 — teoria del magnetismo, 398 — esperimento che prova la sua teoria, 399.
Analisi, dominio senza fine dell'analisi, 539.
Ande, proporzione delle Ande alla massa della terra, 8 — radezza crescente dell'aria che si sente nell'ascendere, 145, 146.
Andromeda, nebula, 520 — regione nebulosa di, 525.
Anelli di Saturno, 83 — diamagnetico luminoso attorno le comete, 435 — a quella di Donati, 477.
Angström, la scintilla elettrica definita, 381.
Animali, specifica diversità degli, 317 — leggi che regolano la loro distribuzione, *ivi*.
Annuale equazione della luna, 43-47. — variazione in medii valori degli elementi magnetici, 430.
Antartico, oceano, onda della marea che nasce nell', 115 — periodo del suo passaggio al Tamigi, 116 — profondità dello strato di costante temperatura dell', 125 — depressione del barometro osservato nell', 148.
Antille, isole, uragani cominciant all', 155.
Antinori, cav., esperimenti dell', sull'elettricità, 417.
Antinoo, cometa osservata nella costellazione di, 468 — la Via Lattea tra Orione e, 484.
Antitesi, il generale carattere del magnetismo, 425.
Anulari, nebulose, 515 — nell'emisfero nordico, 517.
Apogeo solare, sua concidenza ai solstizi, 107-108.
Aprile 1833. scomparsa degli anelli di Saturno, 84 — tempo apparente e medio che coincide in, 104.
Apsidi d'un asse, definiti, 11 — diretto e variabile moto degli, 16 — causa del loro avanzare e retrocedere, 18.
Apures, la missione dell', osservazioni di Humboldt sul suono all', 467.
Ara, nebula in, 522.
Arabico, golfo, mussoni verso l', 153.
Arabi, loro osservazioni sull'irregolarità planetarie, 30 — eclissi lunari osservate dagli, 47 — loro divisione del tempo, 106 — il pendolo usato alla misura del tempo, 111.
Arago Francesco, sperimento in prova della teoria ondulatoria della luce per, 248 — sperimento decisivo suggerito da, 251 — osservazioni in fotografia, 265 — osservazioni sull'atmosfera lunare, 232 — aumento di temperatura sotto la superficie terrestre calcolata da, 288 — comunicazione lenta di temperatura della terra osservata da, 305 — sorgenti di magnetismo discoperte, 412 — teoria de'suoi magnetici esperimenti, 415 — fiamme divergenti d'una Cometa descritte da, 457 — suo trattato sulle Comete, 462 — natura della luce delle Comete determinata da, 478 — numero delle Comete calcolato da, 480 — osservazione di, sulle stelle fisse, 510.
Arcet, vibrazione delle fibre della retina secondo, 220.
Archer, scozzese, stimolo dato alla fotografia, 257.
Archi del meridiano, modo di misurarli, 59.
Arco voltaico, 381-382.
Arcturo, cometa che porta comparazione con, 476 — rango di, 483.
Aree, descritte dai raggi vettori dei pianeti, una prova delle forze

disturbatrici, 13 — descrizione designata dell', 18.
Argelander, periodo d' una cometa calcolata da, 465 — suo modo di stimare le distanze delle stelle fisse, 489 — periodi di fluttuazione nelle stelle computati da, 490-492— moto del sole provato, 510.
Argentine, preparazioni in fotografia, energia chimica che varia con le, 258 — cangiamenti effettuati dalla lavanda alkalina, 261.
Argento iodizato, sua impressionabilità, 276.
Argo, stella variabile in, 494.
Aria, velocità della luce nell' acqua e nell', 251. Vedi *Atmosfera*.
Aries, stagione dell' entrata del sole in, alla età d' Ipparco, 100.
Armonia, proprietà che regola il suono, 162 — definizione dell', 175.
Armonici della nota fondamentale, in musica, 173, 174.
Arseniato di soda, i suoi cristalli, 135.
Artesiani, pozzi, modo di scavarli, origine di questo nome, 287.
Artico, mare, profondità della zona di costante temperatura, 125.
— regioni, vegetazione nelle, 311.
Asia, produzioni indigene, 311.
Asse, cangia la forma delle masse che gli si volgono, 8.
— maggiore, lunghezza dell', nelle orbite invariabile, 24 — delle orbite dei Satelliti di Giove, causa del moto diretto osservato nell', 34 — posizione dell' asse nel sistema solare, 81 — una nutazione nell' asse planetario, 82 — della luna, 86 — legge meccanica modificante, 95.
— ottico, dei cristalli, 226-227.
— maggiore dell' orbita terrestre, periodo della sua rivoluzione, 47 — periodo della rivoluzione della terra, 74 — eccesso dell' equatoriale di Giove sopra il polare, 82 — di rotazione, prova dell' esser invariabile, 95.
— maggiore dell' orbite dei pianeti o distanza del sole misurata per, 11 — designazione delle sue estremità, 12 — lunghezza dell' asse determinante la forma dell' orbita, *ivi* — periodo della sua rivoluzione, 20.
Asse cristallino-magnetico, 438.
Assorbimento, influenza dell', sulla temperatura, 299 — differenza del mare e della terra nel potere di assorbire 302 — gradatamente decresce nella trammissione raggiante, 323 — del colorico raggiante, variando colle sostanze, 335 — trasporto di forze, 344, 345.
Assiri, divisione del tempo per gli, 106.
Astronomi, frutti delle loro fatiche, 4 — questione da risolversi dagli, 29— orbita terrestre differentemente misurata dagli, 44.
Astronomiche distanze, metodo di misurare le tavole, 53, 54 — metodo di formarle, 73 e seg.
Astronomia, uffizio della, importanza della, ne' suoi rapporti colle scienze fisiche, 1 — studi necessari allo studio dell', 3 — la chiave a diversi problemi nelle scienze fisiche, *ivi* — le due più grandi scoperte in astronomia, 28 — i tre dipartimenti dell', 73 — campioni per misure somministrati dall', 103 — applicazioni dell', alla cronologia, 108 — somministra campioni di pesi e misure, 110 — effetti atmosferici che connettono le leggi della molecolare attrazione con l', 126 — progresso fatto ultimamente, 523 e seg.
Atalanta, diametro di, 71.
Atlantico, oceano, direzione della maree nell', 114 — condizioni che modificano le maree, 115 — profondità dell', 118 — correnti, 124 — origine degli organi, 155—temperatura superficiale dell' 305 — distinta vegetazione del bacino polare, 314 — letti di alga nell', 316 — meteore cadenti nell', 531.
Atlantico telegrafo, 407 — magnetismo terrestre disturbatore, 433, 434.
Atmosfera delle stelle nebulose, 519.
— dei pianeti, 282.
— del sole, sua costituzione, 51 — indicazione d' un' assorbente che circonda la luminosa, 264 — la vera, 279.
— terrestre, i raggi solari curvati dalla, nell' eclissi lunari, 49 — in-

fluenza dell', nell' eclissi solari, 51 — la sua analisi, e pressione sulla superficie del globo, 144 — forma dell', graduale decrescimento in densità nei suoi strati, 145 — influenza della temperatura sulla sua densità, 146 — media pressione dell', variabile, 148 — mezzo propagante del suono, 159 — simpatiche vibrazioni trasmesse dall', 182 — sua azione sulla luce, falsificante la visione, 189 — fenomeni prodotti da cangiamenti accidentali nei suoi strati, 192 — effetti di densità crescente nello strato all' orizzonte, 195 — calore lunare assorbito dall', 283 — causa dell' aria più fredda nell' alte regioni dell', 300 — azione del calore del sole modificata, 325 — azione dell'elettricità nell',356 — trasmissione dell'elettricità nell'induzione, 358 — variazioni periodiche di elettricità nell', 365 — disviluppo evidente di elettricità, 368 — causa di variazioni nel suo magnetismo, 429 — corpi nebulosi fatti visibili per l', 531-533.

Atmosferica, aria, estrema elasticità dell', 129.

— pressione, effetto della, sulla elettricità, 361.

Atomica costituzione, determinante forme cristalline, 134.

Atomi, qualità degli, determinanti la natura delle sostanze, 136 — differenza in peso degli, 138.

Attrazione, modi d', sfere nei corpi celestiali, 5 — determinante le forze dei pianeti, 8 — determinante i moti dei pianeti, 9 — solare che dà l'impulso alle rivoluzioni elittiche dei pianeti, 10 — mutua, dei pianeti, che disturba i loro moti, 13 — interferenze dell'attrazione disturba i moti dei corpi celesti, 13 — perturbazioni dall' operazione della mutua, 15 — dalla disuguaglianza dell', 16 — dei satelliti ai primari poco disturbati, 32 — forza disturbatrice nelle sferoidi, 33 — suoi effetti sui satelliti di Giove, 34 — del sole e della luna, 42 — principio modificante della terrestre, 47 — locale, modifica la linea a piombo, 60 — forza comparativa della solare, 71 — d'un corpo esteriore che influisce sopra una sferoide, 99 — produce le maree, 112 — delle particelle della materia, 127 — capillare, 140 — produce le annue ondulazioni atmosferiche, 145 — l' atmosfera lunare modificata dall', 282 — forza espansiva del sopraveniente calore, 338 — dell' elettricità, 354 — la distruzione dell', produce l' elettricità, 356 — leggi dell' elettrica, 359 — modi dell', nella elettricità statica e nella voltaica, 397 — azione della planetaria sull' orbite delle comete, 453 — rango della solare 458.

Aurora, modifica la bussola, 396.

Australe, polo, eccesso di freddo, 301.

Australia, evidenza dell' esistenza di deserti nell' interiore dell', 153 — speci di piante comuni d' Europa e dell', 315.

Auvergne, temperatura di sorgenti calde nell', 288.

Azores, alle quali arrivano le montagne di ghiaccio, 125.

B

Babbage (Carlo), teoria sull' azione vulcanica, 293-295 — citazione sulla natura delle forze, 448.

Babinet, teoria delle linee oscure osservate nello spettro solare, 202 — luce cometale calcolata da, 451.

Babilonia, eclisse osservata a, 45.

Bacone Francesco, anticipazione di scoperta, 39.

Baily, compressione dello sferoide terrestre calcolato da, 63 — densità della terra determinata da, 72 — l' antichità falsamente attribuita all' osservazioni astronomiche indiane, 109.

Bali, eruzione vulcanica in, 291.

Baltico, mare, senza maree, 131 — pressione atmosferica diminuita sulle spiaggie del, 148.

Barlow, osservazioni comprovanti la sua teoria delle correnti elettriche, 433-434.

Barometro, i principii di coesione e d'attrazione applicati alla costru-

zione del, 140 — densità dell'atmosfera misurata dal, 144 — medie altezze del, che variano colle densità atmosferiche, 145 — altezze di montagne misurate col, 147 — fenomeni atmosferici modificanti, 148 — usato a tener dietro al corso dell'ondulazioni atmosferiche, 149 — causa dell' improvviso abbassarsi del, prima degli uragani, 157 — rifrazione variante col, 199.

Barrow, Capo, osservazioni sulle tempeste magnetiche, 433.

Batsha, porto di, marea neutralizzata nel, 123.

Batteria, voltaica costruzione della, 375 — miglioramento del professor Daniell, *ivi* — azione della, caricata coll'acqua, 376 — costante flusso di elettricità ottenuto per mezzo della, 391.

— magnetica, costruita da Faraday, 405. — magneto-elettrica di Henley, 407 — atlantico telegrafo, 409 — struttura della, per telegrafi da terra, 410 — relazione del calore alla forza della, 411 — termo-elettrica, 417.

Bayle, densità comparativa dell'atmosfera nello spazio interplanetario secondo la sua legge, 446.

Becquerel (E.), fenomeno fotografico non spiegato, osservato da, 265 — proprietà fosforescente nello spettro solare scoperta da, 268 — causa di fosforescenza, 270 — elettricità eccitata dalla pressione, 355 — luce attribuita all'elettricità, *ivi* — causa di fosforescenza investigata da, 371 — istromento da paragonare la intensità dell' elettricità inventato, 376 — cristalli formati per l' azione dell'elettricità, 387 — batteria termo-elettrica costrutta da, 417 — effetto del magnetismo atmosferico sul magnetismo terrestre estimato da, 432.

Berard, esperimenti di, sul calore polarizzato, 330.

Berlino, linea di coincidenza nella temperatura che passa per, 298.

Berna, temperatura crescente d' una miniera abbandonata, 287.

Berre (Dottor), pitture fotografiche perfezionate da, 255.

Bessel, calcoli di misura degli archi del meridiano, 61 — calcolo del diametro medio apparente solare, 70 — calcolo della massa dell'anello di Saturno, 85 — obliquità diminuita dell'eclittica osservata da, 101 — teoria del moto irregolare di Sirio, 493 — catalogo di doppie stelle, 498 — massa della 61 del Cigno ritrovata da, 508 — Parallasse calcolata da, 489.

Beta Lyræ, stella variabile, 492 — nebula tra γ lyræ e, 517.

Bezzenberg, velocità delle stelle cadenti calcolata da, 533.

Biela, data della scoperta della sua cometa, 461 — possibilità di collisione con la terra, 463 — antivedute influenzo planetarie sulla cometa di, *ivi* — diventa due corpi distinti, 464.

Binari, sistemi di stelle, 497. Vedi *Doppie stelle*.

Biot, esperimenti di, sulla trasmissione dei suoni per condotti, 169 — liquidi che posseggono il potere della polarizzazione circolare scoperti da, 237 — sua teoria della circolare polarizzazione, 238 — causa di fosforescenza nello spettro solare investigata da, 270.

Birt, onde atmosferiche misurate da, 150.

Bise, vento, causa del, 302. Vedi *Sormontare*.

Bismuto, proprietà elettriche e magnetiche, 435.

Bode (Barone), legge di, presa nel calcolo della posizione di Nettuno, ritrovata fallace, 79.

Bond, satellite di Saturno scoperto da, 40. — nebula elittica scomposta da, 520.

Bonnycastle (Capitano), fenomeno fosforescente osservato nel Golfo di San Lorenzo da, 370.

Bonpland, produzioni identiche del vecchio e nuovo mondo ritrovate da, 314.

Bootes, sistema nebuloso in, 525.

Botanici distretti, distinti, del globo, 313.

Botto, la termo-elettricità usata nella decomposizione da, 417.

Bouguer, gradi del meridiano misurati da, 60.
Boussingault, profondità dello strato sotterraneo di costante calore calcolato da, 284.
Bouvard, ondulazioni atmosferiche stimate da, 149.
Bradley (Dottor), moto del polo dell'equatore scoperto da, 101 — tavole di refrazione, 191.
Brahmin, misura del tempo dei, 106.
Brand, osservazione di, sulle meteore, 133.
Brewster (sir David), analisi dello spettro solare di, 200 — sperimenti sulle linee oscure, 202 — sperimenti sugli spettri di fiamme, *ivi* — legge scoperta da, — determinante gli angoli di polarizzazione per luce, 230 — sperimenti sulla fluorescenza della luce, 245 — linea di coincidenza in temperatura delle sorgenti e dell'atmosfera determinata da, 298 — temperatura di un polo di freddo *maximum* determinato da, 307 — linee isogeo-termali determinate da 307 — osservazioni sulla luce delle stelle fisse, 505.
Brighton, fenomeni cagionati da riflessione osservati da, 194.
Brina, causa della, 336.
Brinkley (vescovo), misura della luna determinata da, 70.
Britannico canale, altezza della marea, 121.
— Isole, rada atmosferica che possa sopra, 150.
Brorsen, periodi cometali scoperti da, 464.
Brown (Dottor Roberto), vegetazione particolare ritrovata nell'Australia da, 314.
Buchan (Dottor), fenomeno cagionato per riflessione, osservato da, 194.
Buco, il, dell'Hoogly, 115 — sua origine.
Burrasche magnetiche, 430 — variano con la latitudine, 433.
Bussola marina, perturbazioni, 392 — misura d'intensità galvanica, 395.

C

Cadenti, stelle, teoria delle, 531 — fenomeni descritti, 533-534.
Cagniard de la Tour, stromento per misurare le note musicali inventato da, 178.
Calce, solfato di, variazione di forma ne' suoi cristalli, 133 — forma invariabile l'ultima assunta, 135.
Caldei, media longitudine ritrovata, 45, — risultato di paragone delle osservazioni moderne con quelle de', 47.
Callis (Prof.), analisi della luce di Brewster esaminata da, 199.
Calme prodotte per i venti commerciali, 151.
Calorico, il, modifica le forme dei cristalli, 133 — svolto nelle chimiche combinazioni, 137 — irregolare decrescimento del, nell'atmosfera, 147 — massimi di, nello spettro solare, 267 — peculiari chimiche qualità del, nei raggi paratermici, 279 — impressioni tracciate per mezzo del, 274-276 — periodiche variazioni nel solare, 280 — proporzioni differenti del solare che arrivano ai pianeti, 281 — effetto dell'atmosfera terrestre sopra la lunare, 285 — modo del suo disviluppo nei corpi opachi, 284 — sorgenti del terrestre, 284-297 — irregolare distribuzione del 298-308 — leggi concernenti la sua raggiazione, 320 — la sua trasmissione 321-324 — polarizzazione del, 330 — teoria ondulatoria, 333 — assorbimento e riflessione del raggiante, 336 — fenomeni cagionati pel raggiamento del, *ivi* — accumulazione del, produce luce, 337 — forza espansiva del, 339 — modi di propagazione, 341 — prodotto da moto ed equivalente a questo, 343-348 — leggi che regolano la forza dell'artificiale, 350 — potere svolto dell'applicazione del, 351 — identico in natura col suono, 352 — elettrico, 361 — baleni lampi cagionati dal, 368 — fosforescenza, 369 — sviluppato dalla voltaica elettricità, 378 — effetto del calore sui conduttori elettrici, 389 — connessione tra la produzione dell'elettricità e del, *ivi* — sua diretta relazione col magnetismo e coll'elettricità, 401 — potere meccanico e forze con-

vertibili del, 411 — magnetismo terrestre attribuito nell'azione del, 416 — misurato da correnti elettriche, 417 — modifica il magnetismo atmosferico, 431 — principii fondamentali della teoria dinamica, 448.
Calorifici raggi. Vedi *Raggi di calore.*
Calotipo, l' invenzione del, 253.
Cameiopardo, sistema nebuloso nel, 525.
Cammino delle comete nascosto, mostrato dalla loro eccentricità, 458.
Canarie isole, vegetazione delle, 314.
— vetro delle, fluoreacenza di luce nel, 244.
Cancro, la calma del, 152 — il tropico del, che marca il limite dei venti commerciali, 151 — gruppo nebuloso nel, 524.
Cane maggiore, posizione del, 490.
— venatico, sistema nebuloso nel, 525.
Capillarità, teoria delle capillarità, 140 — forze producenti, 141 — esempi comuni, 142 — fenomeni curiosi, 143.
Capo di buona Speranza, monti di ghiaccio galleggianti al, 125.
Capricorno, le calme del, 152 — il tropico del, uragani che cangiano la loro direzione ai, 156.
Carbone, suoi poteri constatati come cristallo e come sostanza amorfa opaca, 380. Vedi *Coal.*
Carbonato di calce. Vedi *Calce.*
Carbonico ossido, le sue parti costituenti, 138.
— acido, proporzione dell', nell'atmosfera, 144.
Cardinali punti, la posizione delle masse continentali rispetto ai, temperatura influente, 307.
Carribeane, isole, uragani cominciani alle, 155.
Carlo V imperatore, osservazione sopra le comete fatte ai tempi di, 465.
Castore, scoperto da sir W. Herschel, 498.
Cassiopea, stella che comparisce e scomparisce in, 493.
Categat, conseguenze della sua strettezza, 121.
Cauchy, dati somministrati da, per l'investigazione della teoria della luce, 249.
Cayenna, variazione in lunghezza del pendolo tra Parigi e, 64.
Celesti, corpi, leggi della loro mutua attrazione, 5 — del sistema solare, 7 — legge determinante la loro attrazione al sole, *ivi* — problema per fissare le posizioni dei, sull' occorrenza delle perturbazioni nel loro moti traverso attrazioni agenti in contrario, 13 — teoria della loro mutua connessione e dipendenza, 25 — modo di ritrovare le assolute distanze dei, 53 — distanze dei, computate dalla loro parallasse, 65 — posizione apparente dei, modificata dalla refrazione, 189. 190 — numero infinito apparente dei, 528.
Centauro, posizione del, 484 — stella doppia brillante nel, 502.
Centrale, Asia, montagne dell', loro salita per Marco Polo, 146.
Centro di gravità. Vedi *Gravità.*
Centrifuga, forza, moti della luna modificati dalla, 6 — influenza della, sulle forme dei pianeti, 8 — oscillazioni ritardanti del pendolo, 41 — azione della, nel determinare la figura della terra, 55 — misura della sua intensità, 61 — risoluta in due forze la sua azione sul mare, 124.
Cerere, tavole astronomiche di, 80 — altezza della sua atmosfera, 282 — cometa del 1770 che fa la sua rivoluzione al di là di, 454.
Cesare (G.), êra computata dal suo regno, 106.
Cetus, Balena, zampe della; nebulosi che traversano, 526
Charcoal, luce prodotta per elettricità dal, 380.
Chaudes Aigues, temperatura di, 288.
Chili, elevazione di suolo per un terremoto al, 292.
Chimica azione dei raggi dello spettro solare, 252-257 — varia il massimo di forza, 258 — varia con la rifrangibilità, 260 — non continua nello spettro luminoso, 265 — l'energia proprietà indipendente dei raggi, 256 — proprietà dei raggi paratermici, 273 — azione della luce che mantiene la vegetazione, 311 — le

affinità, sorgenti della forza del vapore, 348 — dell'elettricità sull'ossigeno, 356 — eccitante la elettricità voltaica, 372-377 — un agente nell'analisi chimica, 385.
— combinazioni, teoria delle, 137 — invariabili proporzioni delle, 138 — forza coesiva che induce, 139 — che produce combustione, 338.
— forza il potere della, 139.
— raggi che cagionano la deposizione della rugiada, 336.
China, flora distinta, 314.
— mare della, i mussoni che vi spirano, 158.
— inchiostro, luce riflessa polarizzata dall', 240.
Chinesi, osservazioni dei, sui moti medi di Giove e Saturno, 30 — prova del loro primitivo studio dell'astronomia, 109 — divisioni decimali usate dai, 111 — elementi di comete calcolate dalle loro osservazioni, 459.
— cometa del 1264, ricordata dai, 465.
— Tartaria, erbario raccolto nella, 313.
Chinina, solfato di, fluorescenza di luce, 245.
Chioma di Berenice, un gruppo nebuloso, 524 — zona di nebulose passante per la, 525.
Chladni, scoperta in musica, 180.
Cianite, cangiamenti fatti nella, per magnetismo, 437.
Cianito, v. sopra *Cianite*.
Cianotipi, fotografie colorate ottenute per i, 256.
Cigno, stella che svanisce nel, 494.
Cigno, distanza dal sole di, 485 — orbita e massa di, 501 — colori, 504 massa, 508 — moto proprio, 510.
Cignos, porzione della via lattea che giace tra *a* Centauro e il, 485.
Cilindri rotanti, per elettricità, 393 — elettro-dinamici, 396-397.
Circolari archi, principio in riguardo ai loro seni e coseni, una garanzia per la stabilità del sistema solare, 24.
— moto, ragione delle forze producenti, 482.
— orbite dei pianeti distinte dall'ellittiche, 10 — dei satelliti, 33.
Circolare, polarizzazione della luce, 235-239 — del calore, 332.
Circonferenza della terra, 61.
Circuito galvanico, modi per ottenerlo, 415.
Civile, tempo, misura del suo periodo, 103 — non precisamente conforme alle solari rivoluzioni, 105.
Clairaut, tempo periodico della cometa d'Hallay computato da, 455.
Climi planetari, 281 — cause dei differenti terreatri, 295 — fenomeni che modificano, 299 — causa di varietà dei, 304 — più miti del polare Oceano, 307 — eguali medie-annue temperature non identificann i climi, 308 — compensazioni d'irregolarità, 309.
Clivaggio dei cristalli, 135 — poalzione del, modifica l'intensità dell'azione magnetica, 439.
Cloyne, vescovo di, calcolo della massa lunare, 70.
Coal-misure, piante tropicali conservate in, 91 — tempo della loro formazione, 93.
Coal, forza chimica svolta dal, per la combustione, 348 — sorgenti delle sue qualità combustibili, 349.
Coal-sacks, nella via lattea, 485.
Coda delle comete, improvviso disviluppo della, 468 — forza che la produce, 473 — disuguale illuminazione della, 472 — cambiamento nella posizione, *ivi* — divisa, 473 — costituzione della, *ivi*.
Coesione, influenza della, sulla materia, 130-131 — fenomeni nati dalla, 131, attrazione della, vinta dal potere espansivo del calore, 339.
Coesiva forza, proprietà delle materiali molecole costituenti, 127 — efficace solo ad unire le particelle della stessa natura, 136 — induttrice delle chimiche combinazioni, 139 — la capillare attrazione una azione della, 140.
Colladon, sperimenti di, che provano la velocità del suono, 167.
Collisione fra la terra e le comete, possibilità della, 462 — possibili effetti della, *ivi*.
Collodion, sensibilità del, alla luce, 252 — proprietà dello steaso collo-

dion come agente in fotografia, 257.
Colombo, letti di alghe ritrovati da, 316.
Colonna capillare, forze che producono cangiamenti nella sua forma, 142.
Colori, sette primari, 196 — teoria della decomposizione della luce bianca nei colori, 198 — gradi di rifrangibilità non invariabili, *ivi* — tre primari, 199 — nuovi scoperti da G. Herschel, *ivi* — raggi refratti senza, 203 — omogenei veramente, 204 — esperimenti sugli accidentali e complementari, *ivi* — determinati dall'ondulazioni dell'etere, esperimenti, 210-218 — delle materiali sostanze, donde derivati, 217 — prodotti dall'analisi della luce polarizzata, 231-234 — varianti colla refrangibilità dei raggi, 251 — ottenuti in fotografia, 255 — immagini dello spettro solare, imitanti i prismatici, 269 — di alghe, 316 — non invariabilmente dipendenti dalla luce, *ivi* — modificati dall'assorbimento e dalla riflessione, 334 — della scintilla elettrica, modificata dall'atmosfera, 362 — dello spettro voltaico, 385 — della scintilla elettrica, 382 prodotti dall'ossidazione sull'argento, 388 — delle stelle fisse, 483 — delle nebulose planetari, 519 — dei gruppi nebulosi, 524.
Combustione, cause della, 338 — definita, 382.
Comete, attrazione del sole dalle, 7 — disturbi nel moto delle comete, chiave alla natura del mezzo eteree, 27 — moto retrogrado nelle, 41 — passanti tra i satelliti di Giove, 88 — ritorni delle, al loro perielio somministranti dati storici, 109 — esistenza dell'etere luminoso dimostrata dalle comete, 208 — atmosfera terrestre non alterata pel passaggio delle, 450 — l'ammontare della loro luce calcolato, *ivi* — passaggio della, sistema solare, 451 — velocità, cammini delle, *ivi* — prove del ritorno delle, 452 — azione disturbatrice dei pianeti sulle orbite delle, 453 — un esempio della cometa del 1770, *ivi* — calcolato ritorno di quella di Halley, 455 — aspetti, ricordi di quella d'Halley, 456-458 — scoperte fatte per le rivoluzioni delle, 459 — quella d'Encke e del sistema solare, 459 — possibile una collisione con quella di Biela, 463 — periodi di varie, 464 — causa della loro lucidezza, 465 — influenza del sole sulla velocità delle, 466 — quella del 1843, 467 — la costituzione delle, 469 — gl'inviluppi loro luminosi, 471 — convulsioni subitanee, *ivi* — code, 473 — cause addotte per la contrazione del diametro, 474 — quella di Donati, 476 — natura della loro luce, 476 — calcoli sul loro numero, 480 — orbite, 481 — nebula somigliante, 521.
Commercio, venti di, il fregamento dei, non modifica la velocità della terra, 90 — azione sul generale moto del mare, 124 — sistema dei venti, rendono ragione dell'atmosferiche anomalie, 149 — teoria della loro origine e fenomeni connessi coi, 151 — diventano mussoni, 153.
Compressione dello sferoide terrestre, calcoli della, 59-63 — cause della grande, di Giove, 83 — misure della, per la pressione della sopraincombente massa, 88 — effetto sull'azione magnetica, 440.
Conchiglie, loro modo di stare attaccate alle roccie, 145.
Conduttori di elettricità, 356 — fulmini, ivi struttura molecolare determinante il potere dei, 381.
Coniche sezioni, condizioni che spingono i corpi a moversi nello spazio in, 6 — principio determinante la loro natura, 14.
Conoscenza dell'umana natura limitata, 3.
Conseguimento vulcanico, irruzione. 291.
Contrazione cagionata dal freddo, 339.
Cook, cap., oggetto del suo primo viaggio, 67.
Cooper, lista delle stelle perdute, 497.

Cordier, temperatura delle miniere, 285.
Cordigliere, effetto della temperatura dei loro alto-piani, 301.
Cornisc, sorgenti calde nelle miniere di, 285.
Corona australe nebula, 522
Corpuscolare teoria, 206 — fenomeni in contrario, 211-218.
Correnti, due grandi che partono da ogni polo verso l'equatore, 124 — comprovanti la rotazione dei venti, 154.
— elettriche, corso di, regolato da Volta, 373-375 — caratteristiche delle voltaiche, 374 — conduttori e non-conduttori delle, 389 — corso continuo delle voltaiche, 391 — azione delle voltaiche sulle magnetiche, 392 — azione reciproca e mutua delle magnetiche e delle elettriche, 397 — teoria d'Ampère delle, difficoltà non risolute, 398 — effetti delle, sui raggi polarizzati, 400 — elettricità svolta dalle magnetiche, 403 — loro potere di produrre l'induzione, 405 — direzione delle, prodotte per rotazione, 402 — sciolte per l'applicazione del calore, 416 — prodotte dall'intertenimento delle curve magnetiche, 424 — indotte dal traversare le linee terrestri della forza magnetica, 428.
Coulomb. istr. a misurare le intensità elettriche, 359.
Costellazioni, le più vicine al sole, 490 — dove l'orbita del sistema solare, 501 — occupate dal sistema nebuloso, 528.
Cotiledoni, proporzione tra le piante a, 314.
Cromatismo, invenzione del, 255.
Cronologia dell'astronomia, 197.
Crisotipo, fotografie colorate, 216.
Curve, descritte dai corpi proiettati nello spazio, 6.
— magnetiche, 429 — elettricità prodotta dall'intersecare, 424 — natura delle, provata da Faraday, 425 — terrestri, 428 — estensione del rango delle terrestri, 430 — sistema completo connesso delle terrestri, 432 — effetto induttivo sul telegrafo atlantico, 434 — diamagnetiche, 435.

D

Dalcoath, miniera di rame, sua temperatura, 285.
Daguerre, invenzione in fotografia, 254 — azione della luce sull'ioduro d'argento, 273.
Daguerrotipo, invenzione del, 254.
Dalton, dottor, leggi della definita proporzione, 138 — legge della rotazione dei venti, 155.
Damoiseau, perturbazioni d'una cometa calcolate da, 461.
Daniell, prof., batteria voltaica migliorata da, 375.
Danimarca, corso dell'onda in, 116.
Daubacisson, osservazioni sulle miniere, 285.
Davy, Sir Kumphry, suoi primi tentativi a produrre pitture fotografiche, 253 — sperimenti di, che provano l'identità del calore e del moto, 343 — sperimenti sullo spettro elettrico, 363 — alkali terre decomposte, 386.
Deccan, frumento maturo nel, 312.
Decembre, 1832, scomparsa dell'anello di Saturno, 84 — coincidenza di tempo medio ed apparente nel, 104 — data della nascita di Cristo, 106 — l'anno astronomico cominciato in, *ivi*.
Decimale, divisione del tempo, 106.
Declinazioni lunari, 120.
Decomposizione fatta per l'elettricità, 386 — pel magnetismo, 404 — per la termo-elettricità, 416.
Delambre, calcoli della lunghezza dell'anno, 450.
Delta Cephei, stella variabile, 490.
Densità variabile impedisce il suono, 167.
— dei mezzi modificanti la refrazione, 189.
Densità dei corpi celesti, formola che ritrova la, 71 — esperimenti, 72 — comparativa del globo terrestre, 97.
Deserti, cagione dei mussoni, 153 — influenza dei, nella temperatura, 314.

Dialettrici nell'elettricità, 358.
Diamagnetiche sostanze, 420.
Diamagnetismo definitivo, 420 — risiede nelle sostanze, *ivi* — scoperta, caratteristiche del, 434 — sostanze neutrali ottenute da proporzionata combinazione del, col paramagnetismo, 435 — polarità del, *ivi* — connesso colla collocazione delle particelle, 439.
— modificato dalla divisione e compressione, 440 — probabilmente identico col paramagnetismo, 447.
Diamante, luce colorizzata riflessa dal, 240.
Diametro della terra, 36 — polare di Giove, 37 — eccesso del suo equatoriale, 45 — apparente del sole e della luna prossimamente eguale, 50 — della terra, 61. — dei corpi componenti il sistema solare, 70 — di Nettuno, 79 — comete mancanti del, 469 — sensibile contrazione dei, nelle comete, 474 — cause assegnate per, 474-475.
— d'una nebulosa anulare, 517 — sensibile d'una planetaria, 519.
Dieppe veduto da Hastings, 195.
Differenziali telescopi, sperimenti da esser fatti dai, 283.
Dinamica elettricità, vedi *Voltaica*, 372.
— teoria del calore, principio fondamentale, 448.
Dinamico equatore terrestre, 430.
Dinamica teoria del calore, 343 — spiegata per la liquefazione e condensazione, 347 — per la generazione del vapore, 348 — poter della natura, 350.
Dinamico, principio, una legge rispetto alla rotazione della terra, 90 — elettro-dinamica scoperta dell'azioni delle correnti nell'elettrico, 396, 397 — universale applicazione del, 538.
Disaccordo in musica, 176.
Disuguaglianza tra Giove e Saturno, 109.
Diurne, maree dell' atmosfera, loro durata, 149.
— Variazioni nei medi valori degli elementi magnetici, 430.
Doebereiner, spontanea combustione scoperta da, 139.
Doldrums, regione di, 152.
Dollond, telescopi acromatici di, 204.
Donati, prof., scoperta di cometa, 476 — cangiamenti nella cometa, irregolarità, 477.
Doppia nebulosa, 528.
Doppie stelle, catalogo di, 497 — formule che ottengono la relativa posizione e mossa, 499 — ecclisse in γ della Vergine, 500 — orbita delle, determinata, 501 — eclisse in γ Ercole, *ivi* — orbite e tempi periodici delle *ivi* — anomalie nei moti delle, 503 — doppie otticamente, 504 — colori delle, 505 — raggi componenti la luce delle, *ivi* — passaggio di luce dalle, somministranti i dati per ritrovare la loro attuale distanza, 506 — dati per ritrovare le loro masse, 508 — calcoli fondati sulla quantità di luce emessa dalle, *ivi* — moti reali e apparenti, 509 — connessione delle nebulose elittiche con le, 517 — tempi periodici apparenti delle, 512.
Dorado, pezzi nebulosi, 526.
Dorpat, occultazione d'una stella da, 456.
Dove, prof., legge della rotazione del vento, 155 — media temperatura della superfice terrestre, 296.
Draco, sistema nebuloso nel, 526.
Draper, prof., sperimenti sulla fluorescenza della luce, 246 — sperimenti in fotografia, 263 — proprietà dei raggi paratermici, 272 — spettro prodotto da luce rifratta, 279 — teoria del calore propagato per ondulazioni, 333.
Dunlop, rivoluzione d'una stella doppia calcolata, 503.
Dusejour, distanze delle comete calcolate, 450.

E

Ebreo, calendario, 106.
Eccentricità dell' orbite dei pianeti calcolata, 20.
Eclissi lunari, accelerate rivoluzioni prodotte dall' osservazioni dell', 45 confermanti i risultati dell'analisi, 47 — principio regolatore, il loro

ritorno, 49 — rifrazione dei raggi per l'atmosfera terrestre, 50.
Eclissi solari, 50 — effetti della luce, 51.
— planetaria, 52 — la solare atmosfera visibile nell', 279 — di due stelle doppie, 501.
Eclittica, la, che forma gli equinozi, 11 — latitudine calcolata dal piano dell', 12.
— deviazione dell'orbite planetarie dall', 13 — forze che modificano la loro posizione rispetto all'eclittica, 17 — variazioni loro al piano dell', compensate e non compensate, 22, — variazione secolare nel piano dell', 28 — orbite dei satelliti quasi perpendicolari alla, 40 — moti lunari verso, 42 — inclinazione del piano solare di rotazione all', 81 — inclinazione del piano dell', a quello degli anelli di Saturno, 84 — inclinazione del piano del terrestre equatore, 99 — tendenza del suo piano a coincidere coll'equatoriale, *ivi* — moto retrogrado dei punti equinoziali sull', 39 — obbliquità dell', modificante la durata del tempo, 103.
Eco, teoria della sua origine, 170.
Edimburgh, comparativamente eguale la media, annua temperatura di, 308.
Egitto, manoscritto geroglifico dell', interpretato per l'astronomia, 110.
Elastica spinta, fondamento delle teorie dinamiche, 130.
Elasticità, proprietà dell', resistente alla compressione, 129.
Elementi, i tre magnetici terrestri, 430 — variazioni negli, *ivi* — modificano le tempeste magnetiche, 431.
Elena (Sant'), flora dipinta di, 314.
Elettrico, telegrafo, esperimento che suggerì il principio del, 405 — costruzione del, 407-411.
Elettricità, supposta, medio attraente le particelle della materia, 127 — identica colla chimica affinità, 137 nella composizione e decomposizione, soggetta alle leggi delle proporzioni definite, 139 — influisce sui venti, 154 — sua velocità comparativa, 171 — producente fosforescenza, 170 — comunicata alle piastre metalliche per la giusta posizione, 274 — impressioni tracciate sul vetro per, 275 — raggi eccitanti, 278 una forza doppia, 357 — modi di eccitare, disturbando l'equilibrio, 353 — trasmissione dell', 356 — trasmissione per induzione, 357 — leggi d'attrazione e ripulsione determinanti la intensità della, 359 — calore e luce prodotti dall', 361-362 — velocità dell'262 — esperimento determinante la sna velocità, *ivi* — disviluppo dell', nell' atmosfera, 365 — fosforescenza eccitata dall', 369 — voltaica. vedi *Voltaica*, 372 — conduzione della voltaica differente dalla statica, 389 — leggi d'azione nell', che la distinguono dalla voltaica, 397 — relazione tra luce polarizzata e, 402 — esperimento che stabilisce la sua identità col magnetismo, 404 — telegrafi che agiscono per elettricità, 407 — prodotta per rotazione, 413 — termo, 417 — bilancia esatta della sua doppia forza, 418 — punti di analogia tra il magnetismo e l'e, 426 — produce convulsioni nelle comete, 471.
Elettro-dinamica. Vedi *Dinamica*.
— magnetismo. Vedi *Magnetismo*.
Elevazioni sulla vegetazione, 312.
Elica, circolare ed elettrica descritta nella polarizzazione della luce, 239 — sperimenti elettrici per mezzo dell', 374 — induzione dell', che cresce l'elettro potere, 404.
Ellissi descritte dai pianeti, 16 — cammini dei pianeti che le descrivono, 12 — compensano le perturbazioni, 18 — causa e misura della variazione nelle, 21 — descritte dalle comete, 455-459.
Ellissoide, di rivoluzione, 55 — massa che assume la forma d', *ivi*, — raggio polare ed equatoriale, 60 — assi permanenti di rotazione, 96.
Ellittica, polarizzazione della luce, 240 — del calore.
— nebulose, loro connessione con le stelle doppie, 518 — frequenza, 520
— difficili a scomporsi, 523.
— moto, ragione delle forze che lo producono, 481.

Encke, professore, parallasse del sole, 67 — cometa, 208 — aspetto e periodo di questa cometa, 459 — causa di accelerazione in questa, 460 — che attraversa l'orbita terrestre, 462 — influenza presente e a venire su di essa dei pianeti, 463 — scomparsa, 464 — riferita al sole, 474 — contrazione del diametro, *ivi*.
Emisfero, causa dell'eccesso di freddo nell'australe, 301 — estensione di terra del nordico e dell'australe, 306.
Epipolica luce, 245.
Epsilon Orionis, zona di stella per, 483.
Equatore, le forze che ristringono l'ampio cerchio dell', 8 — inclinazione del terrestre, al piano dell'eclittica, 28 — del sistema solare, 29 — misura della forza centrifuga all', 61 — calcolo della lunare azione sul terreatre, 70 — effetti prodotti dall'attrazione esterna influenti la direzione del piano suo, 99 — disuguaglianza nel suo moto polare, 101 — causa delle calme all'equatore, 152 — profondità dello strato sotterraneo di costante temperatura all', 284 — massimo dell'influenza del calore solare, 397 — estensione superficiale terreatre, 296 — temperatura media annua, 297.
Equatore del sole, massimo del calore solare arrivato nell', 280.
— dinamico, che circonda il globo terrestre, 430.
— magnetico della terra, *ivi*.
Equazione del centro, definita, 11 — lunare, 43.
Equinoziale, cerchio, 2 — definito, 13.
— punti, effetti dell'attrazione solare e lunare sui, 99 — periodo della loro rivoluzione, 100 — che misura il tempo, 103.
Equinozi, gli, definiti, 11 — di primavera, *ivi* — punto da dove i moti planetari si calcolano, *ivi* — dei pianeti, cagione di proceasione negli, 82 — cause che producono la loro invariabile corrispondenza in punti dell'eclittica, 98 — processione modificante le stagioni, 100 — moti secolari degli, 100-101 — periodiche variazioni, 101 — ère dipendenti dalla processione degli equinozi, 107 — maree aumentate negli, 119.
Equinozio di primavera, i moti planetari dell', 11.
Ere astronomiche determinate dalla posizione dell'asse maggiore dell'eclisse solare, 108.
Eratostene, la circonferenza della terra misurata da, 61.
Eridano, traversa spazi nebulosi, 526.
Erman, depressione del barometro, osservata da, 148.
Eruzioni vulcaniche ricordate, 291.
Espansione, legge generale della, 339 — accuratezza nella misura, accertata dalle leggi di disuguale espansione, 340 — dei criatalli, 341 — teoria dell', 344-346 — del vapore, 348 — per l'elettricità, 357.
Estra-tropicali, venti, 153.
Eta Aquilæ, atella variabile, 492.
— Argus, zona che si estende da, *ivi*.
— nebulosa tonda, 526, 527.
— Coronæ, tempo periodico, 501.
Etereo mezzo, ondulazioni dell', 333 propagano il calore, *ivi* — permeabile alle linee di forza magnetica, 429 — sua densità, 449 — trasmette la gravità, *ivi* — magnetico, 447 — funzioni eseguite dall', 417 — invade il viaibile creato, 449 — influenza dell', sul moto delle comete, 458 rivoluzioni degli astri moderate dall', 459 — probabile aumento in densità dell', 461.
Etna, misura dell', 148.
Eudosso, contemporaneo di Platone, aatronomica osservazione di, 110.
Europa, onda atmosferica che passa sopra l', 150 — cause di variazione del clima in, 305 — separazione delle linee isotermiche nelle alte latitudini dell', 306 — differenze di latitudine che prescrivono la stessa temperatura media, 308 — produzioni indigene dell', 311 — numero delle produzioni indigene comune ad Australia e all', 314 — numero di specl di piante da foreata, 315.
Evaporazione, condizioni che modificano l', 337.

Evarest (Colonnello), arco di merid. misurato da, 60.

F

Fabricio, la cometa del 1556 osservata da, 465 — stella variabile, 490.
Fahrenheit, modo di accertarsi dell'altezze, 148.
Faraday (Dottor), gas ridotti a liquidi da, 129 — sperimenti comprovanti la chimica affinità, 138 — esempio di forza coesiva induttrice chimica combinazione, 139 — aperimenti aulle vibrazioni che producono colore, 214 — influenza di dialettrici, 358 — chimica origine dell'elettricità difesa da, 377 — elettro chimica decomposizione definita da, 386 — osservazioni sulla conduzione nell'elettricità voltaica, 388 — esperimenti aulla rotazione magnetica, 392 — sperimenti per magnetizzare la luce polarizzata, 399 — importanza del auo aperimento, 401 — sperimento che atabilisce l'identità del magnetiamo e l'elettricità, 405 — la sua magnetica batteria, 408 — cinto aomministrato nella costruzione dei telegrafi, *ivi* — l'elettricità prodotta pel moto rotatorio spiegata, 412 — classificazione delle aostanze secondo le magnetiche qualità, 416 — citazione da, sulla conservazione della forza inelettricità, 417, 418 — magnetiamo inalzato a nuova scienza da, 419 — la magnete come rappreaentata da, 423 — sperimenti che determinano le forme delle linee di forza, 425 — accidentali elettro-magnetiche combinazioni indicate da, 429 — acoperta del diamagnetismo, 434 — esperimenti aull'azione magnetica nei cristalli, 437 — osservazioni aull'influenza del calore aul magnetiamo, 441 — definizione della gravità discussa, 444 — magnetiamo del mezzo etereo comprovato da, 447.
Faai, che regolano il ritorno dell'ecliasi, 47.
Fauna, distinta, dl regioni separate, 318, 319.
Faye, suo concetto della coatituzione aolare, 51 — teoria dei fenomeni osservati negli eclissi, 52 — cometa del 1848 scoperta da, 454.
Fenomeni, degli effetti della luce nell'ecliasi, 51 — applicati a calcolare le longitudini, 53 — cagionati dall'oscillazioni della marea, 119 — dalla forza di coesione, 131 — dell'attrazione capillare, 143 — prodotti per refrazione e riflessione, 192 — per polarizzazione di luce, 231 — esibiti nella fluorescenza della luce, 244 — risultanti dalla reciproca azione di raggi e di molecole, analoghi agli effetti di fotografia, 273 — foaforescenti, 371 — di galvaniamo, 389 — magnetiamo, 419 — magnetico-cristallino, 437 — esibiti dalle comete, 456-57-72 — per la via lattea, 484-486 — per le doppie stelle, 497 — per le nebule, 528 — pioggie meteoriche, 532.
Ferro, diatillato, 382 — rotazione nelle sue particelle, *ivi* — magnetizzato per elettricità, 394 — proprietà magnetiche, 415 — vaso paramagnetico, 421 — proprietà magnetiche ed elettriche del, 435 — elasticità del, influenzata dal magnetismo, 442.
Fiamma, combinazione chimica che manda, 338.
— lambenti, prodotte dall'elettricità, 368, 369.
— dal nucleo d'una cometa, 457.
Fiedler (Dottor), folgorite esibite da, 367.
Fisiche, scienze, l'esempio il più esteso della loro connessione, 1.
Fisae, atelle. Vedi *Stelle*.
Fizeau, esperimento decisivo in prova della teoria ondulatoria della luce, 251.
Fletcher, tempo periodico dl γ Virginis, determinato da, 500.
Flora dell'Imalaia, 313 — distinta in separate regioni, *ivi* — condizione che atabilisce diatinte flore nell'Isole, 315.
Fluore-spato, sua proprietà di diminuire la rifrangibilità della luce, 246.
Fluorescenza della luce, definizione,

244 — vibrazioni della sostanza producente, 245.
Foco, d'una pioggia meteorica, 532.
Forbes (Prof.) temperatura del punto che bolle accertata da, 148 — osservazioni sulle linee senza raggi, 201 — calore lunare provato da, 283 — aperimenti sulla polarizzazione del calore, 330-331.
Foreste, cangiamento prodotto nell'atmosfera per le, 301, 303 — numero di specie di piante ritrovate in America ed in Europa, 315.
Formentera, quadrante del meridiano passante per, che esibisce una unità di misura lineare, 111.
Fornace, spazi nebulosi che attraversano la, 526.
Forster (Luogot.), conversazione tenuta da, a traverso Port Bowen Harbour, 169.
Forza, relazione della al calore, 344 — trasforma i solidi, in liquidi e in vapore, 345 — potere naturale, 349 luce e calorico, 273 — modi della forza, 401 — il calorico, come vive, 412 — linee di forza magnetica, 425 — conservazione della, mantenuta nella periodica variazione del magnetismo atmosferico, 432 — increabile, indistruttibile, 443 — principio fondamentale della conservazione della, 447 — esempi di conservazione della, 444 — influenza ed azione della gravità, 535-537.
Forze, la causa sconosciuta del moto, 8 — azione contraria della solare e tangenziale nel moto dei pianeti, 10 — aggiustamento della forza, assicurante la permanenza del solare sistema, 14 — tre parziali, cause di perturbazioni nei moti planetari, 17 — eccesso del diametro equatoriale origine di, 34 — tre che perturbano i moti lunari, 43 — che determinano le forme dei pianeti, 56 — producono le maree, 112 — combinausi a formare la centrifuga, 124 — agiacono sulle molecole della materia, 126-131 — producono i fenomeni capillari, 141 — latenti in natura, 349 — un potere universale, la radice di tutto, 402 — esatta bilancia delle, in elettricità, 418 — affini e convertibili, 442 — sviluppanti le code delle comete, 473 — determinanti le forme dell'orbite, 481 — mantengono la stabilità del solare sistema, 537 — relazione mutua delle, 539.
Fosforescenza, i raggi dello spettro solare la eccitano, 368 — causa della, nello spettro solare, 369 — eccitata per l'elettricità, *ivi* — pesci possessori di questa proprietà, 390 scarica di splendore, 371 — aperimenti investiganti la natura della, 372.
Fossili, piante, prova evidente di cangiamento in temperatura, 93.
Fotografia, prime suggestioni, 252 — scoperte e miglioramenti, 253-255 condizioni influenti sulle chimiche proprietà dei raggi produttori, 257 — immagini dello spettro solare ottenuto per, 259 — copie colorate d'una incisione, 262 — fenomeni in, che suggeriscono un'azione di assortimento, 264 — energia chimica producente, distinta dalla luce e dal calore, 266 — sperimenti per mezzo della, comprovanti le proprietà dei raggi, 272 — sperimenti sull'azione della luce, calore elettricità, producenti risultati analoghi agli effetti della, 273-278.
Fotogalvaniche incisioni, 388.
Fotosfera, la, del sole descritta, 279.
Fourier, media temperatura dello spazio, 146 — ragione del decrescimento nel fuoco centrale della terra, 289.
Fox, temperatura nelle miniere, attestata da, 285 — legge della forza paramagnetica, 423 — osservazioni nelle miniere comprovanti l'azione dell'elettro-magnetismo, 434.
Francia, archi del meridiano misurati in, 60 — unità di misura lineare, 106 — modo di calcolo aritmetico, 111 — pressione atmosferica in, 148 — roccie di, vedute da Hastings, 195.
Frane di montagne in Svizzera, 339.
Frange di luce colorata, 213 — prodotte da interferenze di raggi polarizzati, 241.
Fraunhofer, acoperta di linee oscure nello spettro solare, 201 — compa-

rativa rifrangibilità dei raggi, *ivi* — dati forniti a determinare il potere dispersivo dei raggi, 204 — scoperta determinante la lunghezza delle onde indipendentemente dalla rifrazione, 250 — spettro d'una scintilla, 362.
Freddo, contrazione cagionata dal freddo, 339 — mitigato dalla lenta propagazione del calore nell'aria, 342 — generato dall'elettricità voltaica, 379 — cresce il potere dell'aria, conduttivo, 432.
Fresnel, testimonianza in favore della teoria ondulatoria della luce, 212 — teoria della rifrazione, 227 — scoperta nella polarizzazione della luce, 238, 239.
Freyberg, piante verdi ritrovate nelle miniere a, 316.
Frizione, la, svolge calore, 343 — elettricità, 353.
Frumento, campo di, usato ad illustrare la propagazione del suono, 159 — rango nella coltivazione, 160.
Fulgorite, ritrovate in Silesia, 367.
Fulmine, sviluppo di calore, 361 — velocità, 362 — teoria, 366 — contraccolpo, 367 — forza del colpo diretto, *ivi* — effetti del, sulla bussola, 391.
Fundy, golfo di, maree che si versano nel, 116.
Fuoco, combinazione chimica che produce il, 338.
— palle di, teoria, 531.
Fuochi centrali, sotterranei, 289-296.

G

Gage, sperimenti sul magnetismo, 395.
Galileo, leggi che modificano la musica, 180 — metodo di ritrovare le distanze delle stelle fisse, 488.
Galle (Dottor), luogo di Nettuno comunicato al, da Le Verrier, 79.
Galloway, moti del sole, 510.
Galvani (Prof.), effetti peculiari di elettricità occorsi al, 373
Galvanismo, fenomeni suggerenti la teoria, 373 — della batteria, 375 — calore e luce svolti dalle correnti del, 376-380 — decomposizione e composizione, 385 — applicato ad inargentare e indorare, 388 — effetto del calore sul, 389 — effetto del, sui sensi, *ivi* — pesci che offrono fenomeni analoghi, 390 — fenomeni presentati da correnti di, sulle magneti, 391 — intensità di una corrente misurata, 396 — condizioni che ottengono il circuito, 415.
Galvanometro, il principio di sua costruzione, 395 — sperimento pel mezzo del, identificante magnetismo ed elettricità, 404.
Gambert, elementi parabolici d'una cometa, 461.
Gamma Andromeda, colori, 505.
— Aquario, nebulosa planetaria vicino a, 519.
— Hidra, stella variabile, 491.
— Leone, foco d'una pioggia meteorica nel, 532.
— Sagittario, gruppo della Via lattea tondo, 486.
— Virgine, eclisse nella, 500 — orbita della stella che fa la rivoluzione, determinata, 501.
Gange, onda di marea alle bocche del, 115.
Gardner, estensione di terre diametralmente opposte misurata da, 305.
Gas, condizioni che tengono la materia nella forma di, 129 — combinazioni di, 137 — transmissione di calore raggiunta per, 321 — espansione dei, 338, 339 — spettro voltaico modificato dai, 380 — effetto del calore sul potere conduttore dei gas, 389.
Gassiot, sperimenti di, sulla scarica elettrica, 384 — connessione tra magnetismo e luce scoperta da, 402 — apparecchio elettrico perfezionato, 211.
Gay-Lussac, Vedi *Lussac-Gay*.
Gelo, temperatura richiesta per gelare sotto pressione, 339 — teoria del gelo, 345.
Gennaio, principio dell'anno, 106.
Gensanne, temperatura crescente delle miniere attestata da, 285.
Geografi, moti lunari importanti ai, 53.
Geologici, cangiamenti, causa probabile, 97.

Geologia, lezioni di, 292.
Georgia, isola di, eccesso di freddo nell', sopra corrispendenti latitudini, 301.
Germania, stelle erranti vedute dalla, 531.
Ghiaccio, formazione, 339 — forza producente, 345 — ferma le correnti voltaiche, 388.
Giapeto veduto da Lassel, 40.
Gibilterra, lo stretto di, l'onda della marea, 121 — che gira da parte, *ivi*.
Ginevra, il lago di, sperimento sulla velocità del suono nel, 167.
Giorno, legge che determina la lunghezza del, 89 — periodo del medio siderale e solare, 103 — variante con le stagioni, *ivi* — divisione decimale del, 104 — settimana la divisione del tempo la più permanente, 105, 106.
Giove, rotazione di, distinta da quella degli altri pianeti, 8 — disuguaglianza del suo moto, 18 — scoperta dei pianeti telescopici tra Marte e, 25 — diametro di, 26 — posizione rispetto all'equatore del sistema solare, 29 — disuguaglianza nel moto di, apparentemente anomala, 35 — massa provata non omogenea, 36 — eclissi, 37 — compressione del suo sferolde computata, 48 — eclissato da Marte, 52 — massa di, paragonata col sole, 71 — diametro, *ivi* — aumento di densità, 73 — tavole astronomiche, 74, 79 — rotazione rapida. 82 — periodo d'un anno in, 83 — effetto della sua forza perturbatrice, 101 — immagini fotografiche di, 282 — luce riflessa della sua atmosfera, 283 — azione di, sulle comete del 1770, 453 — su quella di Hallay, 455 — cometa che fa la rivoluzione tra le orbite della terra e di, 461 — futura influenza di, sopra le comete, 463 — comete che si accostano vicine ai satelliti di, 464 — comete che hanno i loro perieli in questa orbita, 480.
— sistema di, 70 — massa dell'intero, *ivi*.
— orbita di, rivoluzioni dell'asse maggiore, sorgente di variazione in eccentricità, 20 — lenta rivoluzione dei suoi nodi, decresce nella sua inclinazione all'eclittica, 23.
Giove, co' suoi satelliti, epitome del sistema solare, 33 — effetto dell'eccessivo diametro equatoriale sulle loro orbite, 34 — satelliti, librazione, 87 — rotazione, 88.
Gioviale sistema. Vedi *Sistema*.
Giromagny, temperatura delle miniere di piombo in, 285.
Giugno 1833, ricomparsa dell'anello di Saturno, 84.
Giuliano, calendario, anno di, il primo dell'èra nostra, 106.
Giunone, diametro di, tavole astronomiche di, 80.
Globulari, gruppi di nebule, 522-524.
Golfi che separano le stelle, 488.
Gomma lacca, intensità elettrica misurata per mezzo della, 359.
Goodricke, stelle variabili scoperte da, 491 — corpi opachi rappresentati come rivolgentisi attorno le stelle fisse, 496.
Graham, racconto di terremoti, 292.
— pendolo compensato di, 340.
Grande Orsa, zona nebulosa che passa per la, 525.
Gran Gobi, l'effetto dell'espansione aerea sopra il, 154.
Grandine, la formazione della, 337.
Gravitazione, funzioni della, nel creato materiale, 1-2 — processo di ragionamento in accertare la legge di, 3 — legge che determina la sua intensità nel sistema solare, 6 — azione complessa della, per l'attrazione nelle masse e nelle particelle, 7 — aumento della, verso i poli della terra, 56-57 — calcoli fondati sul suo crescere, 61-63.
— in una miniera, il successo sopra la superficie, 72 — azione della, modificante le maree, 114 — legge universalmente agente sulla materia, 130 — l'aria soggetta alla, 144 — influenza della, sui moti dei corpi celesti, 481 — stelle doppie che girano per la, 501 — sistemi stellari soggetti alla, 504 — influenza della, sulle nebulose, 525 — legge generale del creato visibile, 535 — modi dell'azione della, 536.
Gravità, centro di, nelle sfere, effetto

degli impulsi che passano pel, 9 — del solare sistema, invariabile piano che passa per, 29 — linea retta per, *ivi* — azione della, nel determinare la figura della terra, 56 — definizione inconciliabile con la conservazione delle forze, 445 — questione sulla sua trasmissione, 446.
Greci, osservazioni astronomiche, confermanti i risultati dell'analisi, 47.
Greenland, oceano sulle nordiche coste del, 116.
Greenwich, distanze lunari calcolate all'osservatorio di, 53 — quadrante del meridiano che passa per, chè fornisce un'unità di misura lineare, circuiti periodici dei venti, 155.
Grilli, senso fino dell'udito nei, 163.
Grimaldi, frange colorate sull'orlo delle ombre descritte da, 217.
Groombridge, velocità del moto proprio di, 509.
Grotthus, la trasmissione dell'elettricità voltaica, 373.
Grove, piastre di rame e zinco elettrizzate da, 274 — sostanze raggianti calorico di differente rifrangibilità enumerata da, 321 — la trasmissione di elettricità voltaica investigata da, 373 — calorico elettrico provato da, 379 — osservazioni di, sul carbone, 380 — sull'arco voltaico. 381 — osservazione sulla luce e il calorico, 401 — elettrico apparecchio migliorato, 411 — sua definizione del mezzo etereo, 446.
Guanaxato, temperatura nelle miniere d'argento in, 285.
Guaiaco, resina chimicamente modificata dai raggi dello spettro solare, 252, 253 — condizioni della sua sensibilità alla luce, 260 — effetti dei raggi rossi sul, *ivi* — usato negli esperimenti sui raggi paratermici, 270.
Gymnotus elettrico, 390.

H

Haidinger, sperimenti di, provanti l'acqua parte essenziale dei cristalli, 133.
es, calcolo dell'ammontare di superficie esposta delle foglie d'un Elianto, 304.
Hall, telescopio acromatico di, 204.
Halley, elementi dell'orbita d'una cometa calcolati da, 455 — ritorno della sua cometa, 456 — cangiamenti nell'aspetto di essa, 457 — nessun nucleo solido nella, 470 — causa dei settori luminosi, 472 — osservazioni di I. Herschel, 475.
Harris (Sir W. Snow), esperimenti in elettricità, 359 — conduttori di fulmini per, 368.
Harrison, pendolo inventato da, 340.
Harton, sperimento col pendolo nelle miniere di carbone in, 72.
Hastings, costa di Francia veduta da, 195.
Heller, osservazioni sulla cometa del 1550, 465.
Helmholtz (Prof.), potere della forza chimica calcolato da, 139 — calcolo della forza chimica sviluppata dalla combustione, 348 — dell'ammontare della forza latente nel nostro sistema, 350.
Henley, macchina magneto-elettrica, 407.
Henderson (Prof.), parallasse dell'α Centauro calcolata, 487 — di Sirio, 489.
Henry (Prof.), sperimento sul magnetismo, 395.
Herapath, veduta della forza elastica preferita a quella di Davy, 345.
Hercole, eclisse di una stella doppia in, 501 — globulare gruppo nebuloso, 522.
Herschel (W.), osservazioni dei satelliti di Saturno e di Urano, 40 — periodi approssimativi di satelliti, accertati da, 41 — teoria risguardante la costituzione solare, 52 — causa degli effetti di luce nell'eclissi, *ivi* — rotazione dei satelliti di Giove, 88 — mutua indipendenza della luce e del calore, 267 — influenza delle macchie solari sul calore, 280 — punti di massimo calore nello spettro solare, 328 — cometa del 1801 osservata da, 470 — inviluppi luminosi di lei esaminati, 471 — la via lattea esaminata, 485 — scoperta dei moti orbi-

tali delle stelle doppie, 486 — catalogo delle doppie stelle, 497 — periodico tempo di γ Virgine determinato, 500 — oclisse d'una stella doppis, 501 — sistema binsrio scoperto, 503 — osservazioni sopra i moti delle stelle, 510 — nebulosa scomponibile fra le stelle, 513.

Herschel (Giovanni), — grossezza dell' anello di Saturno calcolato, 84 — osservazioni sulle stagioni, 93 difficoltà di variare il tempo nelle osservazioni a distanza, tolta da, 106 — sottigliezza dell'aria atmosferica dimostrata, 136 — rapido decrescimento di densità nell' atmosfera, 145 — temperatura media dello spazio calcolata, 146 — altezza dell'Etna misurata, 148 — spiegazione di anomalie nei fenomeni atmosferici, *ivi* — spiegazione di, sulla trasmissione del suono, 168 — osservazioni sul tuono, 170 — sull'assorbimento di luce per i mezzi colorati, 217 — sulla polarizzazione della luce, 221 — apparecchio da sperimentare, 234 — scoperta della luce epipolica, 245 — scoperta in fotografia, 255 — analisi dello spettro solare, delle sue chimiche proprietà, 277-279 — teoria dell'azione voltaica. 293 — osservazioni dimostranti il massimo dell'influenza calorosa dei raggi solari, 297 — teoria dell' originale distribuzione delle piante, 317 — fismma divergente d' una comets, 457 — osservazioni sulla possibile distruzione del sistema solare, 467 — cause assegnate per la contrazione di diametro nelle comete, 475 — splendore comparativo di stelle, 485 — la via lattea descritta, 484 — numero di stelle in un gruppo della via lsttea, 486 — stella variabile scoperta, 491 — osservazioni sulla natura delle stelle fisse, 492 — stella perduta. 496 — stelle doppie discoperte, 498 — eclisse di una stella doppia, 500 — orbite determinste, 501 — osservszioni sui colori di stelle doppie, 505 — luce di α Centauro paragonata con quella della luna, 508 — luce delle stelle fisse, 509 — osservazioni di nebule corrette, 513 — cataloghi di nebule, 514 — nebulose scoperte, 515 — nebulosa annulare descritta, 516 — grandezza delle nebulose planetarie, 519 — gruppo globulare nebuloso descritto, 521 — legge di gravitazione ascritta alle nebulose, 525 — nebula tonda η Argo descritta, 527 — opera di, sulle nebule, 529.

Herschel (Carolina), la cometa di Encke veduta da, 459 — catalogo di nebule, 513.

Hevelius, fiamme divergenti d' una cometa descritta da, 457 — contrazione del diametro di comete osservate, 474 — fasi nelle comete, 478.

Hind, orbita della cometa calcolata da, 465 — osservazioni sulla cometa Donati, 477 — stelle variabili scoperte, 492 — stella scomparente, 496 — opinione sul sistema planetare, *ivi*.

Hoar-Frost. Vedi *Brina*.

Horologium, pezzi nebulosi nell', 526.

Holtzman, opinione rispetto alle vibrazioni della luce polarizzata, 279.

Hooghly. Vedi *Buco nell'*.

Hudson, baie d', maree in, 121.

Humboldt, sofferenze per la radezza dell' atmosfera, 146 — spiegazione della maggiore acutezza di udire la notte, 167 — osservazioni sulle miniere, 285 — cause di perturbazioni nell' eguale diffusione del calore, 300 — produzioni dell' antico e nuovo mondo identiche, 314 — distribuzione di psime e erbe, 315 — piante verdi ritrovate cresciute nelle miniere, 316.

Hunt, immagini colorate dallo spettro solare, 259 — immagine ottenute in Inghilterra, 265 — sperimento sul tracciare immagini per la giusta posizione dei corpi, 274 — sperimenti sul condensare i poteri dei rsggi, 278.

Huygens, teoria originata da, 209.

I

Ibn Junis, progresso della scienza ai tempi di, 111.

Idrogeno, proporzione di, nell'acqua e nei gas, 137 — spettro dell', 381

— separato dall'acqua per l'elettricità, 386.
Igrometro, il punto della rugiada, 336.
Illuminazione comparativa di oggetti, esperimenti determinanti, 281, 282.
Immagini colorate dello spettro solare, 258 — tracciate per contatto e per la giusta posizione dei corpi, 273 — per l'elettricità; 275 — per i mezzi assorbenti i raggi caldi, 276, 277.
Imalaia, l'effetto inapprezzabile dell', sulla superficie del globo, 8 — singolare effetto di rifrazione sull', 192 — causa di maggiore elevazione della linea delle navi sul pendfo nordico, 301 — flora dell', 313.
Incisioni copiate per fotografia, 253. — impressioni prese per contatto coll'argento iodizzato, 276 — impressioni prese dall', per galvanismo, 388.
Indie, archi del meridiano misurati nell', 60 — scoperta dell'anello di Saturno, 83 — monumento antico astronomico, 106 — osservazioni confermanti l'antichità dell'astronomia, 109.
Indiano, oceano, l'onda della marea, nell', 115 — mussoni invasori sull', 153.
Indostan, l'onda della marea, 115.
Indo, cometa che passa per la costellazione di, 477.
Induzione, legge di, nell'elettricità, 357 — magnetica, 394 — fenomeni d'induzioni prodotti da correnti elettriche, 405 — illustrata dal telegrafo atlantico, 407 — velocità dell'elettricità modificata dal potere d', 410 — probabilità d'una elettrica somministrante una forza motrice, 414 — dell'elettricità per rotazione delle magneti, 412-414— come posseduta dalla magnetica, 421 — paramagnetismo svoito dall', 422 — mezzi d'accelerarla, *ivi* — soggetta alle leggi meccaniche, 423 — analogia tra l'elettrica e la magnetica, 427 — dei corpi celesti che mostrano il magnetismo terrestre, 434 — sostanze diamagnetiche capaci d', 437.
Inghilterra, archi del meridiano misurati in, 59.
— corso delle maree verso le sue coste occidentali, 116 — singolarità di fotografia, 265 — caduta di meteore, 531.
Insetti, legge della loro dispersione. 318.
Interferenza, leggi di, che neutralizza le ondulazioni, 171 — la teoria dell', riferita ad una legge generale, 209.
Inverno, media temperatura dell', variante nella stessa latitudine, 308 — elettricità atmosferica nell', 365.
Iota Cetæ, cometa osservata vicino alla stella, 468.
— Orionis, stella nebulosa, 518.
Iperbolico moto, ragione delle forze che producono l', 481.
Ipparco, precessione scoperta da, cangiamento delle stagioni dopo il suo tempo, 100 — fenomeni suggerenti il suo catalogo stellare, 493.
Irlanda, onda della marea verso l', 116.
Istrumenti musicali, 177 — articolazione delle lettere imitata, 188.
Isole, carattere delle loro flore, 314.
— del mare australe, marea all', 121.
Isogeotermiche, linee di temperatura definite, 298 — parallele con le isotermali, 307.
Isomorfi, cristalli, 134.
Isotermiche, linee, di temperatura, definite, 300 — latitudini delle, 306 — deviazione dalla linea equatoriale, *ivi* — formula determinante, 307 — somiglianza di vegetazione nelle stesse, 316.
Isolazione nell'elettricità, 357.
Italia, particolare attrazione locale che presta occasione ad inesattezza di misure, 60.
Ivory, suo metodo di calcolare l'altezze, 148 — investigazione teoretica delle forme planetarie, 55 — deduzione della misura di archi del meridiano, 60.

J

Jacob, scoperta dell'anello di Saturno, 83 — tempo periodico di α Cen-

tauri, 502 — tempo periodico di, 70 — Ofiuco, 503.
JAMES (Colonnello), misura generale trigonometrica della Gran Brettagna, 59 — densità della terra, 72.
JAMIN, osservazioni sulle sostanze che producono la polarizzazione ellittica, 240.
Josephstadt, scoperta d'una cometa a, 461.
JOULE, calore considerato come forza meccanica da, 344 — vedute di forza elastica, 345 — ammontare della forza latente in una libbra di carbone fossile, 348 — calcolo che somministra i dati al professor Thompson, 349 — quantità di calore generato in una unità di tempo per elettricità, 379 — magnete potente ottenuta per elettricità, 395 — macchine elettriche costrutte da, 411 — sperimenti provanti essere il calore e la forza meccanica convertibili, 412.

K

KANE (Dottor), mare polare scoperto da, 116 — freddo del nordico Groenland notato da, 308.
Kappa della Croce, gruppo di stelle colorate, 528.
— Draconis, veduto dal polo dell'equatore, 110.
KARSTEN, impressioni fatte sul vetro per l'elettricità, 275.
Kasan, estate ed inverno media temperatura di, paragonata con quella di Edimburgo, 308.
KATER (Cap.), lunghezza approssimativa del pendolo determinata da, 110.
KEMPELEN, macchina-parlante inventata da, 188.
KEPLERO, cammini, rivoluzioni di pianeti scoperti da, 7 — sua legge rispetto le medie distanze dei pianeti dal sole, 23 — legge di, applicata al calcolo delle distanze, 67, 68 — rapidità delle rivoluzioni planetarie determinata, 82 — legge che ritrova l'arce descritte dai corpi celesti riferite alle comete, 452.
Kew, ascensione in pallone dall'osservatorio di, 147.
KNOBLAUCH, posizione dell'asse magnetico cristallino, 438.
KOTZEBUE, strato nell'oceano scoperto da, 125.
KRATZENSTEIN, strumento articolante le parole, 188.
KUPFFER, osservazioni sulla temperatura, 307.

L

La Basilicata, terremoto nella, 293.
LA GRANGE, Investigazioni sulla stabilità del sistema solare, 25 — massima scoperta di, 28.
LA HIRE, fasi nelle comete, 478.
LA PLACE, stabilità del sistema solare provata, 25 — principio nell'astronomiche computazioni stabilito, 29 — angolo d'inclinazione fissato, *ivi* — teoria che rende conto del moto medio della luna, 45 — risultati di osservazioni paragonati con la teoria dei satelliti di Giove, 69 — teoria del moto planetario, 82 — epoca universale proposta, 108 — osservazioni scientifiche; complemento di storici ricordi, *ivi* — data fissata da, per le tavole lunari degl'Indiani, 109 — giustifica la teoria di Newton sulle maree, 118 — densità calcolata di una colonna liquida, 141 — azione della terra sopra una cometa, 450 — cambiamento nell'orbita d'una cometa, 453 — causa d'errore nel calcolo di Clairaut dimostrato da, 455 — opinione di, quanto alla cometa del 1682, 475.
Lacca, gomma, elettrica intensità misurata per la, 359.
Lago delle Gazzelle, attribuito ad un effetto di reflessione, 194.
LALANDE, epoche di congiunzione calcolate, 53.
Lambda di Ercole, movimento generale delle stelle determinato, 511.
LAROCHE, sperimenti sulla trasmissione del calore raggiante, 323-326.
Lassenda, archi del meridiano misurati in, 59 — passaggio di Venere osservato in, 67.
LASSEL satellite di Saturno scoperto

da, 40, — osservazioni sui satelliti di Urano, 41 — scoperta del satellite di Nettuno, *ivi* — osservazioni sull'anello di Saturno, 83.
Latente calore, azione energica del, sulla materia, 344, 346.
Latitudine, d'un pianeta definita, 12 — modo d'ottenerla, *ivi* — causa di periodiche disuguaglianze nella, 15 — perturbazioni dall' azione della forza perpendicolare, 17 — moto della luna disturbato, 43 — effetti di perturbazione, 47 — data della latitudine, usata nel calcolare il luogo d'un pianeta nei cieli, 73-74 — condizioni che assicurano la invariabilità della geografica, 96 — cangiamento derivato dalla nutazione nella, 101, 102 — clima non invariabile nella stessa, 299 — grado di latitudine dove la diminuzione del calore è la più rapida, 306 — la stessa media temperatura in differente, 308 — della vite, 313 — tempeste magnetiche varianti con la, 433.
Layang, osservazioni fatte a, 1100 anni prima dell'èra cristiana, 109.
Le Sueur, differenza specifica degli animali marini osservata da, 318.
Le Verrier, principio di La Grange applicato, 25 — zona d'instabilità, *ivi* — scoperta di Nettuno, 79 — osservazioni sull'onde atmosferiche, 150 — comete identificate, 454 — tavole dell'orbite delle comete, 455.
Lecaille, gruppo globulare nebuloso, 522 — metodo, 527.
Lenticolari, nebulose, 515 — gelata bianca attorno il sole, 519.
Leone, sistema nebuloso nel, 525.
Leon-Faucault, velocità della luce nell'aria e nell'acqua, 251.
Lepre, cometa osservata presso alla, 468.
Lerio, banco di alghe trovato da, 316.
Leslie (Prof.), compressione dell'aria, 97 — esperimenti sopra il ragglamento del calore, 320.
Lexel, osservazioni sulla cometa del 1770, 454.
Libbra, i cinque grandi pianeti in congiunzione vicino alla, 53.
Librazioni della luna, dei satelliti di Giove, 87 — dell'α Centauro, 502.
Lichene rosso crescente nella neve, 310.
Linee di forza magnetica, 423 — esperimento che accerta la forma delle, 425 — terrestri, 428 — corsi estensivi delle, 431 — sistema connesso, 432 — diamagnetiche, 436.
Linguaggio, somiglianza e analogie tra i linguaggi, 319.
Leone, congiunzione di pianeti nel, 53.
Liquidi, l'equilibrio di forze costituente i, 129 — l'azione dell'attrazione capillare sopra i, 140-143.
— posseggono la proprietà della polarizzazione circolare della luce, 237-38-40 — condizioni modificanti la trasmissione del calore raggiante, 327 — evaporazione dei liquidi, 336 — espansione dei, pel calore, 339 — propagazione del calore nei, 341 — azione del calore come una forza meccanica sopra, 344-46.
Lobi-seminali, proporzione tra le piante aventi uno o due, 315.
Londra, ritardo dell'onda della marea tra Aberdeen e, 116.
— il pendolo che vibra nella latitudine di, un campione di misura, 110 — folgoriti presentate a, 367.
Long (Dottor), tentativo per misurare le distanze delle stelle fisse, 488.
Longitudine, modo di calcolare la media e la vera, 11 — del perielio e dell'epoca, definita, 12 — cause delle periodiche perturbazioni nella, 17 — calcolo dell'influenza della luce su la solare, 70 — dati della, usati nel calcolare il luogo d'un pianeta nel cielo, 74-75 — cangiamento succeduto per la precessione e la nutazione nella, 102.
Lloyd, sperimenti di, nella polarizzazione del calore, 330.
Lubbock (Sir John), teoria del moti planetari completata da, 80 — teoria delle stelle cadenti, 533.
Luce, ragione della sua velocità, 38 — verità dedotta dall'uniformità della velocità, *ivi* — dell'osservazione, *ivi* — periodo ricercato ad arrivare alla terra dell'α dal Centauro, 68 — azione dell'atmosfera

sulla, 189 — condizioni che regolano la traamissione e la rifleasione della, 193 — perdita della, 195 — trameasa per strato orizzontale, *ivi* — effetti della trasmiasione a traverso l'atmosfera, 195 — analisi di Newton della luce, 196 — di Brewster, 200 — fenomeni disapprovanti la teoria di Newton, 206 — teoria ondulatoria, 208 — condizioni che modificano la sua intenaità e il colore, 210 — aperimenti provanti le mutue relazioni del colore e della, 213-217 — legge del suo assorbimento identica con una legge di moto, 218 — ripetute vibrazioni che producono la senaazione della, 220 — polarizzata definita, 222 — modo di polarizzazione, 222-230 — sostanze polarizzanti, *ivi* — accidentale polarizzazione, 243 — degradata o fluoreacenza, 244, 245 — obbiezione alla teoria ondulatoria analizzata e rigettata, 247-251 — velocità comparativa della, nell'aria e nell'acqua, 251 — pitture prodotte dalla luce riflessa, 252-256 — raggi della, indipendenti dal calorico, 267 — comparativo ammontare della aolare e della lunare, 280 — misure differenti d'illuminazione, 283 — dell'influenza della, sulla vegetazione, 311 — colore aviluppato senza l'influenza della, 316 — aeparata dal calore da Melloni, 331 — prodotta dall'accumulazione del calore, 337 — legge che regola la forza dell'artificiale, 349 — elettrica, 362 — prodotta dalla voltaica elettricità, 379 — stratificazione dell'elettrica, 385 — influenza del magnetismo e dell'elettricità aulla, 400 — delle comete, 478-479 — delle stelle fisse, 483.

Luce, acarica di, osservata dal capitano Bonny Castle, 370.

— cenerina, definizione della, 283.

Luna, forza che ritiene la, 5 — media distanza della, dalla terra, 6 — risultati dalla sua vicinanza alla terra, 9 — ragione annua della diminuzione nell'eccentricità della aua orbita, 20 — distanza media della, dal centro della terra, 42 — periodo del suo circuito dei cieli, *ivi* — sue periodiche perturbazioni, 43-47 — cause assegnate per l'accelerazione del suo moto medio, 43 — ecliasi della, 49 — longitudini determinate dalle osservazioni della, 53 — aua parallaaae media orizzontale, 66 — sorgenti onde può essere determinata la aua massa, 70 — il suo diametro, *ivi* — rotazione della, 85 — librazioni, 87 — montagne, *ivi* — precessione riaultante dalla sua attrazione, 99 — influenza della, producente le maree, 112-119 — periodo della aua declinazione, 120 — equilibrio atmosferico dlaturbato dalla sua attrazione, 149 — causa dell'apparente sua grandezza cresciuta all'orizzonte, 195 — fotografiche immagini, 267 — ammontare preparativo della luce ammessa dalla, 281 — causa della radezza della aua atmosfera, 282 — intensità accreaciuta di luce alla piena, *ivi* — effetto dell'atmosfera terrestre aul calore raggiato dalla, 283 — causa di accelerazione nel moto medio, 459 — luce che arriva alla terra dalla, 508.

Lunare diatanza definita, 53.

Lunare teoria, medie diatanze ottenute dalla, 53.

Lunari maree dell'atmosfera terreatre, 149.

Lundahles, moti dei corpi celesti investigati da, 510.

Lupo, posizione del, 490.

Lussac-Gay, congiunzione del gaa per volumi acoperta da, 138 — aacensione in un pallone, 146 — corso d'un baleno, 366, 367.

Lutetia, diametro di, 71.

Lyell (Carlo), teoria dei cambiamenti di temperatura nell'emisfero nordico, 94 — numero annuale dell'eruzioni vulcaniche computato da, 290, 291 — fenomeni vulcanici, 292.

Lyncis, stella tripla, 497.

Lyra, atella variabile nella, 492 — atella doppia, 497 — nebulosa, 517.

M

Macchie sulla superficie del sole periodi delle loro vicisitudini, 280

— l'ammontare del calore varia con esse, 281.
Macchine, relazioni delle, con la forza, 443.
— sono incapaci a generare la forza, 348-349.
Mackintosch (Giacomo), citazione che illustra gli essenziali vantaggi degli studi, 1.
Maclear, parallasse calcolata, 487.
Madera, vegetazione di, 314.
Madras, anello di Saturno scoperto a, 83.
Magnetico-cristallina azione, 437 — che modifica la temperatura, 441, 442.
Magnetici corpi, differenza in potere, 435.
— elementi, i tre magnetici, 430.
— equatore della terra, 429.
— meridiano, azione media delle forze che determinano il, 430.
— poli della terra, 429.
— tempeste, 431 — varianti con le latitudini, 433.
Magnetismo, sorgente di, 398 — produttore di fenomeni elettrici, 403 — classificazione di sostanze rispetto alla loro suscettibilità di, 415 — il moto rotatorio è sorgente di, 412, 413 — risiede nelle sostanze secondo due maniere, 419 — sperimenti che illustrano le forze del, 423 — antitesi suo generale carattere, 425 — forma delle sue linee di forza, *ivi* — analoghe proprietà di elettricità e di, 427 — terrestre, 429-434 — connessione fra il solare e il terrestre, 431 — azione del, nei cristalli, 437-439 — influenza della temperatura, 441 — altera l'elasticità della materia, 442 — una proprietà del mezzo etereo sul, 447.
— elettro, scoperta, importanza della scienza, 391 — rotazione eseguita per, 392, 393 — elettrica intensità misurata, 395 — azione delle correnti nel, definita, 396 — teoria da Ampère, 398, 399 — causa la rotazione dei raggi polarizzati, 400 — azione del magnetismo sulla luce, 402 — accidentali combinazioni, 428 — influenza del, sui depositi metalliferi, 434.
Magneto-elettricità, principio che suggerisce la, 403 — macchina costrutta sul principio, 407 — relazione del calore alla, 412.
Magneti, influenza delle magneti sulla luce elettrica, 387 — pesci che posseggono il potere di produrre, 390 — effetti della corrente elettrica sulle, 391-392 — ottenute per elettricità, 395 — potere delle elettro-magnete, misurato, 396 — cilindri che agiscono come, 397 — producenti effetti elettrici, 403 — svolgenti elettricità per rotazione, 412, 413 — classificazione delle sostanze in relazione alle, 415 polarità, una proprietà della, 420, 421 — effetto sulla stessa di comunicare paramagnetismo, 422 — sperimenti che mostrano la linea di forza delle, 423 — proprietà delle, indistruttibile per suddivisione, 424 — la terra messa tra le, 429 — pianeti messi tra le, 434 — azione d'un elettro, sul rame, 440.
Maguire (Cap.), osservazioni sulle tempeste magnetiche, 433.
Malò (Sain), inalzamento della marea, 121.
Malus, scoperta della polarizzazione della luce, 243 — tentativo di, a polarizzare il calore, 330.
Malta, osservazioni sull'anello di Saturno fatte a, 83.
Manchester, tempesta di fulmini vicino a, 366.
Marcet, ragione d'aumento nella temperatura sotto la superficie terrestre calcolata da, 287.
Marco Polo, effetti atmosferici osservati, salendo montagne, 146.
Mare, influenza inapprezzabile del, sulla direzione della gravità, 96 — media altezza dalle linee delle nevi sul livello del, 301 — estensione separativa, 302.
— sud, la marea nel, 114 — velocità, 116.
Maree, calcolo dell'azione della luna sulle, 70 — teoria delle forze che le producono, 113 — circostanze che occasionano le irregolarità, 114 — inalzamento progressivo delle, 115 — tre sorti d'oscillazioni nelle

variazioni delle, 118 — dall'influenza solare e lunare, 119 — effetto dell' interferenza dell'onde sulle, 122 — L'equilibrio del mare non alterato, 124.
Maree basse, 119.
— lunari e diurne, dell' atmosfera terrestre, 149 — esempi di ondulazioni simpatiche, 182.
Marine, piante, leggi che governano la loro distribuzione, 315 — animali di specifiche località, 318.
Marinaro, bussola del. Vedi *Bussola*.
Marte, usato nell'illustrare i possibili effetti della forza radiale distribuente, 24 — pianeti telescopici tra Giove e Marte, 25 — distanze medie del sole, *ivi* — diametro di, 26 — nota eclisse di Giove per, 52 — parallasse ritrovata dall' osservare le sue opposizioni, parallasse di, 67 — interna struttura, 73 — tavole astronomiche di, 79, 80 — clima di, 281 — avvicinamento della cometa del 1770 a, 454 — comete che hanno i loro perieli dentro l'orbita di, 480.
Marsiglia, transito d' una cometa a traverso il sole osservato da, 469.
Masse, del sole, dei pianeti e loro satelliti, computazioni per ritrovarle, 69, 70.
Matematiche, uso delle, nello studio dell' astronomia, 3.
Materia, teoria della sua costituzione, 126 — ipotesi rispetto alle forze che uniscono le sue particelle, 127, 128 — azione controbilanciante della elasticità e della coesione, 129 — cristallizzazione comune a tutte le forme di materia, 135 — Indistruttibilità delle sue particelle, 136 — composizione dei corpi inorganici, soggetta a legge permanente, 137 — agenti compositori e decompositori, 139 — modo di accertare il magnetismo della, 419 — increabile, indestruttibile, 443 — proporzione di, allo spazio, 534, 535.
Mattrucci, effetto dell' elettricità sull' argento levigato, 276 — sperimento che mostra la polarizzazione per mezzo dell'elettricità, 358 — dubbi di, sulla polarità del diamagnetismo, 436 nota — esperimenti sull' azione magnetica nei cristalli, 438 — osservazioni sull' azione di compressione, 442.
Maury (Luogot.), calme nominate per, 152.
Mechain, cometa d'Encke veduta da, 459.
Meccanico, equivalente del calore, 343.
Medaglie, impressioni prese dalle, per contatto, 274 — per mezzo della elettricità, 275.
Mediterraneo, condizioni del, che escludono la marea, 121 — uragani nel, si dividono in due burrasche, 156 — vegetazione, 315.
Medusa, brillantezza fosforescente, 370.
Magellaniche nubi, 526.
Melloni, sperienze di, in fotografia, 266 — applicazione del principio di termo-elettricità, 417 — sperienze di, nella trasmissione del calore, 322-327 — fissa il massimo di calore nello spettro solare, 329 — nella polarizzazione del calore, 330 — luce separata dal calore, 331.
Melville (Isola), altezza del termometro nell', in gennaio, 307.
Mercurio, inclinazione dell' orbita al piano dell'ecclitica, 26 — eclisse di, 52 — causa della sua ignorata rotazione, 81 — elitticità dell' orbita paragonata con la terrestre, 92 — clima, 281 — comete che si rivolgono tra le orbite di Pallade e, 461 — attrazione di, determinante l'orbita d'una cometa, 464 — comete che fanno le loro rivoluzioni nella sua orbita 480 — velocità, 503.
— propagazione del calore in, 341 — che ruota per elettricità, 392.
Meridiani, grandezza e forma della terra determinata ai, 57 — misura degli archi, 58 — anomalie della attrazione locale, 60 — risultato dei paragoni, 61, 62 — permanente della luna, 87.
Meridiano, costante, dell' alto mare, 113 — modo di determinare il magnetico, 431.
— magnetico, influente sulla direzione delle metalliche deposizioni, 434.

Mesi, antichità dei, 105 — misura di tempo, *ivi*.
Messier, cometa del 1770 osservata, 453 — cometa d'Encke, 459 — nebulosa descritta da, 515.
Metallici sali, azione dei raggi dello spettro solare sui, 252.
Metalliche corde, usate nella costruzione di strumenti musicali, 177 — verghe che danno suoni musicali, 178.
Metalliche superficie, luce polarizzata riflessa dalle, 240 — piastre, impressioni fattevi dai corpi per contatto, 274.
Metalli, espansione dei, per calore, 339 — propagazione di calore nei, 342 — trasmissione di elettricità, 356 — elettricità sviluppata per ossidazione dei, 374 — determinanti le apparenze di uno spettro di fiamma voltaica, 380 — distillati nell'arco voltaico, 382 — elettroinargentatura dei, 388 — proprietà dei, modificanti la elettrica suscettibilità, 417 — magnetismo, come agente nella formazione dei, 434.
Meteore, l'accensione delle, 146.
— teoria delle, 532-534.
Meteoriche, pietre, 530 — prova della loro origine straniera, 531 — pioggia di, 533.
Metro adottato dalla Francia come unità di misura lineare, 111.
Mezzo etereo, che trasmette il magnetismo, 431 — densità del, 446 — probabili relazioni del, alla gravità, *ivi* — sperimenti che provano le sue magnetiche proprietà, 447 — funzioni del, *ivi* — invade il creato visibile, 449 — questione non risoluta rispetto, 458 — cause di accelerare le rivoluzioni delle comete, 460 — direzione del suo aumento in densità, 467.
Mezzo che occupa spazio, 534, 535.
Mica, polarizzazione per induzione eseguite sulla, 358.
Minerali, che posseggono la proprietà fosforescente, 369.
Miniere, causa della temperatura cresciuta nelle, 286 — piante verdi crescenti nelle, 316.
Mira, periodi delle sue fluttuazioni in, splendore, 490.
Miraggio, supposte cause del, 193.
Mirabdi, rotazione d'un satellite di Giove determinata da, 88.
Misura di astronomiche distanze, 53.
Mitscherlich, esperimenti sui cristalli, 133 — scoperte di, 134 — esperimenti di, sull'espansione dei cristalli, 340, 341.
Mocha, meteore cadenti in, 531.
Modelli di misure e pesi, d'onde derivanti, 110.
Moignot, cristalli compressi, 234.
Molecolare polarità prodotta per elettricità, 354 — attrazione, elettricità sviluppata per distruzione della, 356.
— struttura che modifica la trasmissione dell'elettricità, 380.
— vortici, ipotesi dei, per render conto dell'assorbimento della luce, 219.
Molecole, materiali, attrazione e ripulsione delle, 127 — effetto dell'elasticità e coesione sulle, 128-131 — congiunzione a formare i cristalli, 131-133 — estrema minutezza nelle ultime, 136 — dell'etere, 240 — modi delle loro vibrazioni nella luce naturale e polarizzata, *ivi* — nella luce fluorescente, 244 — immagini tracciate per la mutua azione delle, 273-277 — disposizione delle, connesse col magnetismo, 438-440.
Molluschi, specie distinte di, 317, 318.
Monocerotes, stella triplice, 497.
Mussoni, teoria dei, 153.
Montagne, anomalie, misurandole, cagionate dalle, 60 — rarità dell'atmosfera sopra le, 146 — cause delle nevi perpetue, 147 — modi di determinare l'altezze delle, 148 — diventano nuovi centri di moto negli uragani, 156 — influenza di catene sulla temperatura, 303 — causa delle frane nelle, 340 — cime delle, fuse dai fulmini, 367.
— lunari, effetti dei raggi solari che passano tra e, nell'eclissi, 51 — influenza delle, sui moti della luna, 87 — tre classi, 88.
Monti di ghiaccio galleggianti, 125 —

la fila più lontana al nord e al sud, 301 — effetto d' elettricità nelle collisioni, 355.
Moorcroft, Erbario raccolto da, 313.
Moser (Prof.), mutua influenza dei corpi in contatto attestati da, 274.
Mossotti (Prof.), analisi di. per provare la identità della forza coesiva colla gravitazione, 127 — teoria sulla gravità 445.
Moto, legge dell' universo, 343 — perpetuo impossibile, 348.
Mu (di Ercole), direzione del moto solare a, 511.
Multipli, sistemi di stelle, 497.
Mundy (Cap.), miraggio descritto, 194.
Musica, paragone istituito di note simpatiche nella, regolate ondulazioni di suoni producono la, 175 — strumenti di, 177 — sperimenti per mezzo di lastre vibranti, 179 — vibrazioni simpatiche, 182 — sperienze dimostranti, 183-184.
Musicali stromenti costruiti dal prof. Wheatstone, 177.

N

Napoli, cometa scoperta a, 465.
Nautico almanacco, calcoli per le longitudini, 53 — tempo calcolato, 104.
Navigazione, importanza dei moti lunari per la, 53 — leggi delle burrasche da essere considerate, 158.
Nebbia, gialla, ch' esclude l' azione chimica dei raggi, 266.
Nebulose, numero e generale aspetto delle, 513 — cataloghi, *ivi* — classi, 514 — irregolari, *ivi* — di forma definita, 515 — spirale, 516 — anulare, 517 — elittica, *ivi* — doppia, 518 — distanza d'una stella nebulosa scopribile, 519 — aspetto e colore delle planetarie, *ivi* — ellitiche comuni, 520 — gruppi globulari, 522 — risoluzione delle, 523 — stelle gruppi, 524 — probabile legge di moto, *ivi* — distribuzione delle, 525 — le nubi magellaniche, 526 — intorno la η di Argo, 527, 528 — sistemi lontani, 529 — solare invisibile, 531 — meteore cadenti dalle, 532.
Nebulose apparenze d' una cometa, 456 — estensione della materia che circonda una cometa, 468 — variabile splendore, 470 — apparenza attorno il sole, 519.
Nebulose stellari, 518.
Negativa elettricità definita, 353 — modo di eccitarla, 354.
— impressioni in fotografia, 254.
Nero mare, scarsamente mosso dalle maree, 122.
Nettuno, variazioni periodiche nella orbita di, 26 — rivoluzione del suo satellite dall' est all' ovest, 41 — lontananza di, 67 — anticipazione della scoperta, 77 — orbita e moto determinati di, 78 — suo diametro, media distanza dal sole, 79 — temperatura di, 281 — azione di, sulla cometa d' Halley, 456.
Neutro, fosfato di soda, in cristalli, 135.
Nevi, causa di perpetue, sulle sommità delle catene alpine, 147 — cause modificanti l' altezza della linea delle perpetue nevi, 301 — protettrici della vegetazione, 310 — irraggiamento di calorico, 321.
Newton (Sir Isacco), passi del suo argomento per l'universale influenza della gravitazione, 3 — sua scoperta dei modi d' attrazione, 5 — moti dei corpi gittati nello spazio, 6 — forma d' una massa fluida in rotazione determinata da, 56 — problema che occupa gli astronomi ancora, 80 — discrepanza tra la sua teoria delle maree e le osservazioni, 118 — natura composta della luce bianca, 196 — analisi dello spettro solare contrastata, 199 — teoria della luce disapprovata, 206 — misura di raggi colorati, 213 — scala dei colori, 215 — sperimento decisivo disapprovante la teoria della luce, 251 — osservazioni sopra la trasmissione della gravità, 445.
Niagara, la caduta di, non indipendente dall' influenza dell' astronomia, 1.
Nichelio, solfato di, cambiamento nei suoi cristalli, quando esposto al sole, 133.
Niepcè, fotografiche pitture rese permanenti da, 253 — scoperta in fotografia, 257 — colori delle immagini

del sole presi, 265—sperimenti sulla saturazione di sostanze con luce, 371.
Nimes, scoperta di pianeta telescopico a, 26.
Nitrogeno, (*Azoto*) proporzione di, nell'atmosfera, 144 — spettro del, 381 — ferro volatilizzato con l'arco voltaico nel, 382 — non cangiato pel magnetismo, 431.
Nobili, direzione di correnti elettriche, 416.
Nodi ascendenti e discendenti d'un pianeta definiti, 12 — moti delle loro linee nelle perturbazioni, 16 — avanzamenti e ritirate dei, 21 — supposte ritirate dei, sull'equatore del sistema solare, 30 — della luna, periodo della loro rivoluzione siderale, 46 — secolare disuguaglianza influente, 48 — influenza dei, sull'eclissi, 40 — causa del loro rapido moto, 70 — punti di riposo sopra una corda vibrante, 174 — nelle vibrazioni d'una colonna d'aria ondulante, 176 — nelle vibrazioni dei solidi, 182.
Non-conduttori di elettricità, 356.
Non-elettrici, 357.
Nord, atlantico, nel, venti, 153.
— Polare Oceano, marea nel, 116.
Norvegia, corso dell'onde della marea a, 116.
Note in musica, 177.
Nubecula maggiore e minore, 526.
Nubi che cerchiano la cintura delle calme equatoriali, 152 — ragione delle, 154 — elettricità svolta dalle nubi, 365.
Nuclei, della cometa d'Halley cangiante nel suo aspetto, 457 — scomparso in quella d'Encke, 461 — divisione in quella di Biela, *ivi* — diafano, 469 — solidità del, 470 — d'una nebulosa spirale, 516.
Nuovo Messico, venti mussoni, 153.
Nurimberga, osservazioni sopra una cometa a, 465.
Nutazioni prodotte dalla vicinanza della luna alla terra, 9 — nell'equatore di Giove, 35 — negli assi planetari, 82 — effetto della, sul polo dell'equatore, 101 — longitudini e latitudini dalle, *ivi*.
Nysa, vicinanza della sua orbita alla terra, 26.

O

Occultazione centrale per la cometa d'Halley, 456 — posizione geografica accettata dall', 483 — prevista parasole di α Centauri, 502.
— di stelle, 53.
Oceano, densità e media profondità dell', 64 — media densità paragonata con quella della terra, 96 — sua forma in equilibrio, quando gira intorno ad un asse, 113 — solare e lunare attrazione disturbante il suo equilibrio, 114 — disuglianze nei moti periodici, *ivi* — moti dell'onda della marea nell', 117 — stabilità del suo equilibrio, 123 — circolazione di correnti nell', 124 — strato di costante temperatura, 125 — zone dell', 127 — decrescimento ed aumento di temperatura colla profondità, 288 — assorbimento e raggiamento del calore, 303 — elettricità svolta dell', 365.
Oceani di luce e di calore, processi che li riproducono, 281.
Ochotzk, il mare di, depressione del barometro, 148.
Olbers, calcolo di una cometa di, 461 — periodo della sua cometa, 465 — cometa del 1816, 470.
Ofiuco, 70 di, anomalie nei moti della, 503.
Ofiuco, gruppo della via lattea tra lo scudo e, 486 — nuova stella che scompare da, 494.
Onde, neutralizzate dall'interferenze, 122-123.
— atmosferiche sopra distretti locali, periodi dimensioni dell', 144.
— di suono, 160, 161 — somministrante un'illustrazione di riflessione di suono e luce, 170 — interferenza di, producente calma, 172.
Ondulazioni, teoria, 122 — dell'atmosfera, 150 — del suono, 159 — intervalli prodotti per interferenza, 172 — che danno le note musicali, 176 — simpatiche, 182 — dell'etere luminose, 209 — nella rifrazione, 215 — e riflessione, 219 — producenti fluorescenza, 245 — differenti

in luce e suono, 247 — costituenti un raggio solare, 278 — calore propagato per, 333 — di luce, svolgimento di forza latente nell'estinta, 349, 350 — di naturali forze identiche, 351.
Ondulatoria teoria della luce, 209 — legge del moto influente, 218 — provante i fenomeni, 246 — obbiezione della azione differente della luce e del suono, confutata, 247 — provante l'esistenza d'un mezzo etereo, 449 — provante accelerazione nel moto delle comete, 460.
— teoria, sperimenti determinanti in favore della, 249 — finale e decisivo esperimento, 251 — del calore, 333.
Opachi corpi, modo nel quale il calore è sviluppato nei, 284.
Orbita della terra, attrazione aumentata per la sua diminuita eccentricità, 46 — eccentricità dell', influente sulla temperatura, 92 — se attraversata da una cometa, 462.
— della luna, forza regolatrice, 5 — sua eccentricità, 42 — cambiamenti nell', 43 — sua inclinazione al piano dell'eclittica, 99.
— d'una nebulosa, 524.
— del solare sistema, 510.
Orbite delle comete soggette a variazione, 452 — esempi, 453-456 — la prospettiva cangia nelle, 464 — di quella di Donati, 477 — forze che determinano le loro forme, 481.
— delle stelle doppie, 498-593.
— dei pianeti, forze reggenti la velocità d'un pianeta nell', 10 — misura della loro eccentricità, 11 — sette elementi dell', determinanti la loro posizione nello spazio, 13 — moti disuguali nelle variazioni dall'elittica alla circolare, 20 — secolari variazioni dell', nell'inclinazione al piano dell'eclittica, 22 — stabile ed instabile nella forma, 25 — influenza del mezzo etereo, 27 — principio facilitante le osservazioni sulle disuguaglianze secolari, 28, 29 — rivoluzioni di Saturno paragonate con quelle di Giove, 30 — disuguaglianza periodica aumentata da secolari variazioni nei loro elementi, 32 — comete che si rivolgono nell', 480 — cause di diversità nella forma delle, 481.
Orbite dei satelliti, forme di quelli di Giove, 33 — loro inclinazione, 34 — inclinazione di quelli di Saturno, 40 — posizione di Urano, 41 — forme di dati nel calcolare il luogo d'un pianeta nel cielo, 75.
Ore, causa della loro mal corrispondenza sul globo, 106.
Orientali coste, causa dei loro climi freddi, 305.
Orenoco, le cateratte dell', udite di giorno e di notte, 167, 168 — area occupata dalle foreste, 304.
Orione, la via lattea tra Antinoo e, 484 — posizione di, 490 — stella variabile in, 495 — multiplo sistema in, 497 — nebulosa in, 514.
Orizzonte, effetti prodotti dall'ultimo strato più denso dell'aria all', 195.
Oro, azione della luce sull', 214.
Orologi, indicanti l'apparente tempo siderale, 103 — regolati ad indicare il tempo decimale, 104 — azione irregolare degli, corretta dalle leggi di espansione disuguale, 340.
Orsa Piccola, stella polare nell', 102.
— maggiore, tempo periodico d'una stella doppia nella region nebulosa dell', 525.
Oersted (Prof.), scoperta suggerente la teoria dell'elettro-magnetismo, 391 — la scienza che pone le fondamenta alla sua fama, 396.
Oscillazioni, largamente spandentesi prodotte dalla gravitazione, 1-2 — principio meccanico regolatore delle piccole, 14 — dei seni e dei coseni degli archi circolari, 24, 25 — piano invariabile sul quale possono essere calcolati, 29 — del pendolo ritardate, 40 — sperimenti fondati sulle oscillazioni del pendolo, 62 — sperimenti comprovanti la densità della terra, 71 — una misura di tempo, 102 — prodotte dalle maree, 117 — istromenti che misurano le atmosferiche, 140 — barometro modificato dalle periodiche atmosferiche, 149-150 — delle spighe di grano, 159 — producenti le note musicali, 173-174 — esempi di simpatiche finestre, 183 — cagionanti vicis-

situdini nei climi, 309—del pendolo disturbato, 340 — per gli effetti della temperatura misuranti le variazioni di intensità elettrica, 359.
Ossidazione dei metalli, elettricità sviluppata per, 374 — per le scariche voltaiche si pulisce l'argento, 383.
Ossidi, decomposti dell'elettricità, 386—alcali risoluti in metallici, *ivi*.
Ossigeno nei cristalli, 135 — proporzione dell', nell'acqua e nell'ossido di carbonio, 137 — nell'atmosfera, 144 — combinazioni chimiche coll', che svolgono luce e calore, 338 — azione dell'elettricità sull', 356 — l'elettricità somministrata per combinazione di metalli coll', 374 — spettro dell', 381 — separato dall'acqua per mezzo dell'elettricità, 386 — paramagnetico, 432.
Ottico, asse, dei cristalli, 227 — fenomeni per trasmissione di luce polarizzata lunghesso l', 233 — modificante per compressione, 235.
Ottobre 1832, posizione del piano degli anelli di Saturno, 84.
Ovest-Indie, causa degli uragani, 155.
Ozono, prodotto dall'elettricità, 356.

P

Pacifico oceano, media profondità del, 96, 97 — corso della marea giù lungo il, 115 — media profondità, 118 — correnti, 124.
Paderborn, fulgorito a, 367.
Paesaggi, in chiaro-scuro prodotti per fotografia, 253.
Pallade, inclinazione della sua orbita all'eclittica, 13 — diametro di, 26 — tavole astronomiche, 80 — ellitticità della sua orbita, 92 — paragonata colla terrestre, *ivi* — altezza della sua atmosfera, 282 — cometa che si rivolge fra l'orbita di Mercurio e quella di, 461.
Pallone, radezza dell'aria sentita in un, 146 — osservazioni sul, *ivi*.
Parabolico moto, ragione delle forze che lo producono, 481.
Parallasse del sole, — circostanza favorevole alla sua correzione, 25 — d'un oggetto, definita, 54.
— definizione, modo di accertarla, 65 — distanza calcolata dalla, 66 — calcoli della orizzontale lunare, 70.
Parallasse delle stelle fisse, 486-488 meteore, 532.
Paramagnetiche sostanze, 420.
Paramagnetismo, definito, 420 — sostanze in che si sviluppa, 420 — modi di comunicarlo, *ivi* — un potere duale, *ivi* — impartito per induzione, 421 — legge della sua intensità, 423 — proprietà dell'ossigeno, 432 — in opposizione al diamagnetismo, 434 — sostanze neutre ottenute dalla conbinazione di diamagnetismo e, 435 — sperimento di Tyndall sulla polarità del, *ivi* — dipendente dalla disposizione delle molecole, 439 — modificato per compressione, 440—verità che stabilisce la sua identità col diamagnetismo, 447.
Paratermici, raggi analizzati da Gio. Herschel, 270, 271.
Parigi, variazione in lunghezza del pendolo, 65 — media annua temperatura, 284 — temperatura d'un pozzo artesiano, 288.
Parry (Edoardo), ritornato a motivo della corrente polare indietro, 125 — media temperatura calcolata dall'osservazione di, 307 — termometro all'isola Melville, 308.
Pauxis, lo stretto di, marea e mare di, 121.
Peel (Guglielmo), tempesta di fulmini sperimentata da, 368.
Pegaseo, regione nebulosa di, 525.
Pendolo, principio che rende eguali le oscillazioni, 62 — la figura della terra, 63-64 — sperimenti accertanti la densità della terra, 72 — isocrono, misura il tempo, 103 — campione a misurare l'estensione, 110 — unisce il tempo e la forza, 116 — invenzioni a neutralizzare gli effetti della temperatura, 340.
Penombra, nell'eclisse lunare, 49 — larghezza dello spazio occupato dalla, *ivi*.
Perigeo dell'orbita lunare, 46 — periodo della sua rivoluzione, *ivi* — causa del moto rapido, 70.
— solare, periodi di coincidenza con, gli equinozi, 107.

Perielio d'un pianeta, definito, 19 — dell'orbita della terra, posizione che regola la lunghezza delle stagioni, 93.
Periodiche disuguaglianze dei pianeti, 16 — legge della loro deduzione, 30 — dei satelliti, 35 — lunare, 43.
Perkins, sperimenti per le leggi della compressione, 98.
Peron, specifica diversità di animali marini, 318.
Perpendicolare, forza, cause delle periodiche disuglianze, 17 — effetti prodotti dalla, 21.
Perpetuo moto, invariabile proporzione tra il calore e la forza preescludente il, 348.
Perseo, stella invariabile in, 491.
Pesce, fosforescente, 369 — elettrico, 390.
Pesci, regione nebulosa, 525.
Peters, cometa scoperta da, 465 — parallasse di *a* lyræ, 488 — distanze di stelle fisse calcolate, 489 — teoria dei moti irregolari di Sirio, 493 — moto solare, 510.
Petit, sui satelliti meteorici, 534.
Però, archi del meridiano misurati, 60.
Pi Herculis, direzione del moto solare verso, 511.
Pianeti, cammini attorno al sole descritti dai, 6 — legge che determina le loro rivoluzioni, 7 — forze influenti sulle forme, 8 — i loro moti in orbite ellittiche, 10 — media distanza dal sole, *ivi* — modi di ottenere il luogo dei, nelle loro orbite, 12 — calcolo che danno il luogo dei, nello spazio, 13 — disturbazioni della reciproca attrazione, compensazioni, 22 — telescopici, 25 — perturbazioni nel moto medio, 31 — influenza dei, suj moti lunari, 44 — eclissi e congiunzioni, 52 — formole per ritrovare le loro masse, 69, 70 — i loro diametri, 70 — masse dei telescopici, 71 — paragonate con la luna, *ivi* — comparativa densità, 73 — metodo di calcolare i loro luoghi, 73-80 — scoperta di, 77, 78 — teoria rispetto i telescopici rigettata, 79 — periodi delle loro rotazioni, 82 — variazione e posizione del piano dell'eclittica prodotta dai, 97 — suo effetto sui punti equinoziali, 99 — climi, 281 — probabilmente magnetici, 434 — costante velocità del loro moto medio, 459.
Piante, numero delle specie di foreste ritrovate in Europa e America, distribuzioni delle specie note sul globo, 311, 316.
Pioggia, forza che dà la forma alle gocciole, 131 — causa delle periodiche tropicali, 153 — regione della, 154 — teoria della sua formazione, 337 — conduttore elettrico, 366.
Piastre vibranti, sperimenti per mezzo delle, 179-181.
Piombino, deviazione del, per l'attrazione del luogo, 60 — densità della terra calcolata dalla deviazione del, 73.
Pianetario moto, rappresentazione del, 16.
— nebulose, 519 — apparenza delle, *ivi*.
Plateau, sperimenti sul calore, 205.
Platino, incandescente usato come una sorgente di calore, 324 — sperimento che produce la spontanea combustione del, 139.
Playfair (Prof.), citato relativamente alla scoperta di La Grange, 28.
Pleiadi, stelle nebulose, 524.
Plücker (Prof.), scoperte di, nell'azione del magnetismo nei cristalli, 437.
Poinsot, scoperta di la Place estesa da, 29 — paragone per, 30.
Poisson, decisioni di, sui fenomeni dell'attrazione capillare, 142.
Polare bacino, probabile temperatura, 307.
— stella, cambio di posizione nel, 102.
— vegetazione, in contrasto colla tropicale, 309.
Polarità, prodotta da elettricità, 354 — delle magneti definita, 420 — indotta nel ferro, 122 — anti-manifestazione della, 421 — invariabilmente duale, 427 — di sostanze diamagnetiche, 436.
Polarizzazione della luce, definizione

della, 222 — ritratta per vario sistema, 222-225 — per riflessione, 228, 230 — angoli di, 229 — fenomeni esibiti per transmissione tra i mezzi analizzati, 231 — circolare, 236 — teoria della circolare ed ellittica, 239 — sostanze produttrici, 240 — teoria delle immagini formate per, 241 — accidentale, 242 — scoperta della, 243 — la luce degradata incapace di, 246 — comunicante elettricità, 274 — piano di moto delle vibrazioni nella, 279.

Polarizzazione del calore, primi tentativi, 330 — sperimenti favorevoli, 330-333 — dell'elettricità per induzione, 358 — sperimento dimostrante l'azione del magnetismo sulla, 401 — modificata dalla meccanica compressione, 442.

Poldice, miniere di, temperatura dell'acque nelle, 285.

Poli, causa dell'appiattimento d'una massa sferoidale ai, 8 — diametro di Giove ai, 33 — sperimento che determina l'incremento della gravitazione verso i poli, 61 — il ghiaccio galleggiante, 125 — del massimo freddo, 307 — centri delle linee isotermiche, 307, 308 — natura delle forze magnetiche distinta per i, 415 — quattro terrestri del massimo di forza magnetica, due magnetici, 429.

Polluce, stella doppia otticamente, 504.

Port Bowen Harbour, trasmissione di suono a traverso di, gelato, 169.

Positiva elettricità, definita, 353 — modo di eccitarla, 354.

— impressioni in fotografia, 253.

Pouillet, stima della media temperatura dello spazio, 146 — quantità di calore solare ricevuto dalla terra calcolata da, 297 — dati forniti da, al prof. Thompson, 349 — sviluppo di elettricità investigato da, 365.

Powell Baden, sostanze producenti elittica polarizzazione notate da, 240 — disposizione della luce spiegata per la teoria ondulatoria, 249 — sperimenti sulla transmissione del calore raggiante, 327 — tentativi a polarizzare il calore, 330.

Power, ondulazioni che producono luce fluorescente calcolate, 245 — lègge dei raggi solari che agiscono sui mezzi, 246.

Pozzi, aumento di temperatura nei, 288.

Precessione negli equinozi dei pianeti, 82 — cause, *ivi* — media dei punti equinoziali, calcolata e definita, 100, 101 — influenza della, sui poli dell'equatore sulle longitudini, 101-102.

Presepio, macchia luminosa nel Cancro, 520.

Pressione, elettricità svolta per, 355 — legge dell'elettrica, 361.

Principato Citeriore, terremoto, 293.

Prismi, spettro solare formato dai, 196 — effetti neutralizzanti del colore, 203 — di una tormalina bruna per luce polarizzata, 222 — scomposizione del puro raggio solare bianco, 277 — sostanze che determinano il punto di massimo calore nello spettro solare, 328 — luce elettrica analizzata, 362.

Problema che determina i moti di translazione dei corpi celesti, 14 — dei tre corpi, 73 — il più difficile in astronomia, 113.

Procione, luce di, 505.

Proporzione definita, la legge di, nelle sostanze che si combinano, 139.

Protossidi di metalli, loro cristalli, 135.

Prussia orientale, fulguriti della, 367.

Punta, svolgimento della elettricità da una, 250.

Q

Quadrature, l'equazione del centro nelle quadrature, 11 — orbita lunare aumentata nelle, 43 — maree modificate dalla luna nelle, 119.

Quadrupedi, distribuzioni di specie distinte, 318.

Quarzo cristallizzato, luce polarizzata circolarmente, 235 — varietà di polarizzazione, 240.

Quebek, estremi di temperatura, 380.

Quercia, come fiorisce vicino all'equatore, 313.

R

Radiale, forza, produce cangiamenti periodici nelle relative posizioni dei corpi celesti, 18 — effetti prodotti della, 18-20 — principio neutralizzante il suo ultimo risultato, 24.

Raggiamento del calore, 320 — leggi che lo regolano, *ivi* — universale delle sostanze, 335 — fenomeni naturali risultanti dal, 336 — lenta diminuzione del calore centrale della terra pel, 289 — influenza del, sulla temperatura, 299 — potere del raggiamento nell'acqua paragonato con quello dei continenti, 303 — del calorico, una translazione di moto, 346.

Raggi, natura comune e proprietà comuni di, 334 — del calore, esistenti indipendentemente dai luminosi, 320 — leggi di transmissione dei, 321 — analogia tra la transmissione dei luminosi e i, 522 — temperatura della loro sorgente, influente sulla transmissione, 324 — varianti in natura colla loro origine, transmessi per vetri colorati, 325 — traversanti vari mezzi, 326 — soggetti alla rifrazione e riflessione, 327 — polarizzati, 332-332 — assorbimento e riflessione dei, 334 — rotazione dei polarizzati, cagionata dal magnetismo, 400, 401.

— della luce, inclinanti passando dal mezzo raro al denso, 189 — riflessione parziale e totale dei, 193 — perdita dei, per l'obbliquità dell'incidenza, 195 — teoria della loro transmissione ed assorbimento, 196-199 — rifrangibilità comparativa dei, 201 — sperimenti sulla dispersione dei, 202 — principio determinante il loro colore, 210, 211 — transmissione dei, nel vetro e nell'acqua, 219 — condizioni dei polarizzati, 222 — per riflessione, 228, 230 — immagini colorate prodotte per l'interferenza dei, 241, 242 — interna dispersione, 243 — valore, luce chimica, azione, indipendenti proprietà nei, 267, 268 — ondulazioni costituenti, 278 — condizioni modificanti il potere dei raggi solari a produrre calore, 296 — transmessi indipendentemente dai raggi calorifici, 321 — magnetizzanti la luce polarizzata, 400 — doppia rifrazione, 224.

Raggi polarizzati per riflessione, 228, 230.

— solari, effetto prodotto dalla rifrazione nell'eclisse lunare, 50 — passanti tra le montagne lunari nell'eclisse solare, 51.

— dello spettro solare, loro chimiche proprietà, 252, 253 — varianti la energia chimica, 257 — variando la natura della loro azione, 259 — azione peculiare chimica del rosso, 260-263 — azione deossidante ed ossidante dei, 263 — sperimenti circostanziati, 263-267 — nuovi oscuri scoperti da Giovanni Herschel, 270.

— vettori, spiegazione, 10 — aree descritte dai, 13 — forza disturbatrice nella direzione dei, 17.

Ragona Scina, sua teoria delle linee oscure dello spettro, 202.

Rankin, teoria sulla struttura della materia, 128 — teoria dell'assorbimento della luce, 219.

Reich (Prof.), aumento medio, 287.

Resistenza, una causa di moto accelerato, 460.

Retina, azione della, nel ricevere le impressioni, 205 — comparativa sensibilità delle sue fibre alla luce, 221.

Retrogrado, moto delle comete, 451-462-468-477.

Rettili, distribuzioni di specie distinte, 318.

Richman (Prof.), ucciso dal fulmine, 368.

Richter, variazione nella lunghezza del pendolo, 64.

Ritchie (Prof.) esperienze elettriche, 393.

Riflessione delle onde sonore, 170.

— dei raggi alla superficie di strati differenti in densità, fenomeni occasionati dalla, 192 — influente sul colore, 195 — moto d'un raggio di luce nella, 218 — luce polarizzata per, 229, 230 — polarizzazione elittica prodotta dalla, 240 — calore

polarizzato per, 332, del calore raggiante delle superficie, 234.
Rifrazione dei raggi solari nell'eclissi lunari, 50 — delle onde sonore, 175 — della luce per l'atmosfera, 189— modo di stimarla nel caso dei corpi celesti, 189, 190 — formole per ottenerla nel caso di oggetti terrestri, 191, 192 — fenomeni occasionati dalla,192—colori decomposti dalla, 197 — prodotta senza colori, 203 — potere di, nei mezzi che influiscono sull'elasticità dell'etere luminoso, 219 — di un raggio polarizzato, 222 — doppia, 224 — teoria di Fresnel, 227— sulla capacità diminuita à produrre la fluorescenza, 244 — capacità della, nei raggi la loro azione chimica modificata dalla, 259, 260 — effetto della, sull'atmosfera lunare, 282— influenza della, sulla transmissione del calore, 322 — dei raggi calorici, 327 — polarizzato per la, 332.
Rifrangibilità, sostanze che diminuiscono la rifrangibilità della luce, 243 — modifica l'azione chimica dei raggi, 259-263— modifica il raggiamento del calore, 321 — modifica la trasmissione del calore raggiante, 326-328.
Ripulsione dell'elettricità, 354 —sperimenti determinanti le leggi dell'elettrica, 359 — modi della, nella statica e nella voltaica, 397 — sviluppa le code delle comete, 471, 472.
Ritter, chimiche proprietà dello spettro solare, 252 — effetto ossidante dei raggi rossi, 260.
Rive (Augusto De La), ragione dell'aumento di temperatura nei pozzi, 288.
Riviere, curvatura della terra provata dalle, 58 — influenza delle riviere sulla rotazione terrestre, 89 — l'innalzamento delle maree nelle, 121 — effetti delle riviere nel raffreddarsi dell'atmosfera, 304.
Roget (Dottor), fenomeni di elettro magnetismo, 392.
Roma, montagne lunari osservate da, 87 — èra fissata, 106— cometa scoperta, 165.
Romboedri di carbonato di calce, 135.
Ross (Giacomo), strato di costante temperatura nell'oceano scoperto da, 125 — abbassamento del barometro, 148 — regione vulcanica, 290.
Rosse (Lord), nebulosa risoluta pel suo telescopio, 514 — nebulosa spirale, 516 — nebulosa anulare, 517 — stellari nebulose, 518 — nebulosa risoluta, 523.
Rosso mare, le maree nel, 121.
Rotazione, la, influisce sui venti, 151-157 — di venti, 155 — d'uragani, *ivi* — prodotta dalla corrente voltaica che agisce sul ferro, 383 — di stratificazioni di luce elettrica, 385 — cagionata da elettricità, 393 — della luce cagionata dalla corrente elettrica, 400 — di magneti producenti elettricità, 412 — cangiamenti prodotti nelle comete per la rotazione, 472.
Rotazioni del sistema solare, 9 — del sole, 81 — dei pianeti, 82 — dei satelliti di Giove, 88 — della terra determinante la misura del tempo, 89 — influenza della temperatura sulle, 90 — asse di rotazione, invariabile, 96, 97.
Rotatorio moto, la forma indicante il, 81 — quello della cometa Donati, 476, 477.
Roux, sulla magnetica azione nei cristalli, 439.
Rudberg, rifrangibilità delle sostanze, 250.
Rugiada, cause della, 336.
Ruhmcorff, miglioramenti sull'apparecchio elettro induttivo, 411.
Ruote per ritrovare la intensità del suono, 164.
Russel (Scott), velocità dell'onda della marea, 117.
Russia, arco del meridiano misurato, climi nella, 305.

S

Sabine (Generale), variazionine gli elementi magnetici, 430.
Sabbione, tubi di, formati dal fulmine, 367.
— deserti di, influenti sulla temperatura, 303.

Sagittario, cometa che attraversa la costellazione del, 477 — la via lattea nel, 485 — nebulosa, 522.
Sahara, il, cagiona i mussoni, 153.
— deserto esteso influente sull' atmosfera, 304.
Salt, papiro mandato dall' Egitto da, 110.
Sandwich Terra, eccesso di freddo in, sopra corrispondenti latitudini, 301.
Sareassa, o mare erboso, ritrovato nell' Atlantico, 316.
Satelliti, l' azione dell' attrazione sui satelliti, 9 — unione intima del, coi loro primari, 32 — eccezioni alla legge generale del sistema solare, 82 (nota) — rotazioni eguali al tempo della loro rivoluzione, 82 — cometa che passa traverso i, 83.
— di Giove, proporzione della loro massa a quella del loro primario, 33 — forza perturbatrice di attrazione modificante la loro orbita, 34 — disuguaglianze periodiche e secolari, 35 — eclissi, 36 — rotazione, 88 — passaggio d' una cometa tra, 451 — cometa prossima, 464.
— di Saturno, 40 — di Urano e Nettuno, 41.
— modo di calcolare le loro masse, 69 — comparativa densità dei, 73.
— di Nettuno, 79.
— della terra, stelle cadenti, 533, 534
Saturno, compensazioni di perturbazioni ne' suoi moti occorrono disugualmente, 18 — influenza perturbatrice di, su Giove, eccentricità della sua orbita paragonata con la Gioviale, 20 — ritarda la rivoluzione dei nodi di Giove, 23 — piano invariabile che passa tra Giove e, 29 — osservazioni sui moti medii di Giove e di, 31 — eclissi di, 52 — struttura interiore, 73 — tavole astronomiche, 75 — periodo del suo anno, 83 — gli anelli di, descritti, 83-85 — il suo anello probabilmente diamagnetico, 435 — azione di, sulla cometa di Hallay, 455 — comete che hanno i loro perieli nella sua orbita, 480.
Sauriani rettili, tribù distinte di, 318.
Saussure (De), temperatura di miniere, 287 — Achene scoperto, 310.
Savart, ricerche e aperimenti in acustica, 163 — sperimenti sulle vibrazioni dei vetri in regoletti, 180 182 — sperimenti che mostrano le ondulazioni simpatiche, 184 — scoperte sulla natura della voce, 188.
Savary, elementi orbitali di una doppia stella determinati da, 498 — suo modo di accertare le attuali distanze delle stelle fisse, 507.
Scheele, cangiamonti chimici eseguiti per lo spettro solare, 252.
Schroeter, altezza dell' atmosfere planetarie, 282.
Schwabe, variazione periodica nelle macchie solari, 431.
Scienza, suo valore, come investigazione della verità, 1 — errori dei sensi corretti dalla, 40 — sua antichità, 108.
Scienze, mature relazioni di forze comprovanti la connessione tra le, 401-402 — analisi che prova l' intero cerchio delle, affini, 539.
Scoresby (Capit.), fenomeno per rifrazione, 193.
Scorpione, pezzo vuoto della via lattea nello, 485 — posizione dello, 490 — stella doppia nello, 497 — nebulosa nello, 522.
Scozia, progresso dell'onda della marea in, 116.
Secchi (Padre) montagne della luna, 87, 88 — immagine fotografica della luna, 267 — temperatura della superficie solare, 281 — sperimenti di, in fotografia per la luna e Giove, 282.
Secolari disuguaglianze dei pianeti, 16 — mezzi di scoperta, 30 — effetti delle, sul moto medio della luna, 44.
— variazioni nei medii valori dei magnetici elementi, 430.
Seebeck, punto del massimo calore nello spettro solare, 328 — scoperta di, 330 — relazioni del calore all' elettricità, scoperte da, 416.
Seleniato di zinco, cristalli di, 133.
Senarmont, aperimenti nell' espansione dei cristalli, 341.
Sensi, necessariamente testimoni inesatti dei, 352.
Settembre, tempi coincidenti in, 104.

Serpentario, stella che scomparisce nel, 493.
Settimana, la più antica ed universale divisione del tempo, 105, 106.
Sfera, modo di attrazione nella vuota e nella solida, 5 — i pianeti partecipano della natura di, 8 — impulsi che regolano la rotazione, 9 — condizioni che procurano la figura di, 55 — formula per ritrovare la densità, 71 — forza che dà la forma di, 131 — potere, a ritenere l'elettricità, 360.
Sferica forma, il risultato della coesione, 131.
Sferoide, influisce sull'attrazione diversamente dalla sfera, 5 — forza che disturba l'attrazione nello, 34 — compressione del terrestre e del Gioviale calcolata, 48 — di strati ellittici, quantità invariabile nello sferoide, 57 — del sole, 81 — effetto prodotto dall'attrazione d'un corpo esteriore, 99 — potere di ritenere l'elettricità, 361.
Siberia, orientale, abbassamento del barometro, 148.
Siderale tempo, medio, periodo di, 103 — misura dell'apparente, 104.
Siene, arco del meridiano misurato tra Alessandria e, 61.
Sogma Eridani, periodo di rivoluzione in, 503.
Silesia, fulguriti della, 367.
Simpatiche vibrazioni negli istrumenti musicali, 182.
Sirena, istromento musicale assicurante il numero delle pulsazioni musicali, 178.
Sirio, l'anno egiziano contato da, 105 — coda di cometa che si estende dalla Lepre α, 468 — classe di, 483 — grandezza comparativa, *ivi* — parallasse, 489 — causa del suo moto irregolare, 493 — cangiamento in colore, 505 — luce, 505 — estensione di superficie, 509.
Sistema Gioviale, massa dell'intiero, 70.
Smith (Ammiraglio), misura dell'Etna paragonata con quella di G. Herschel, 148 — eclisse d'una doppia stella, 500 — tempo periodico determinato, 500, 501.
Smith Piazzi, calore della luna trovato, 283.
Sizigie, maree cresciute nelle, 119.
Soda, solfato di soda, cambio di forma nei cristalli, 133 — cristalli del fosfato neutro e dell'arseniato, 135.
Solare gravitazione, 535.
— magnetismo, connessione col terrestre, 441.
— spettro, causa del punto del massimo calore variante nel, 328, 329.
— sistema, il, gravitazione dei corpi componenti, 6-7 — condizioni assicuranti la stabilità del, 14-15 — prova di questa, 25 — equilibrio del, non atterrato dal mezzo etereo, 27 — piano invariabile, che forma l'equatore del, 29 — questione della sua rivoluzione attorno ad un centro comune, 30 — proprietà del suo mezzo, 39 — masse dei corpi componenti, 69 — loro diametri, 70 — direzione uniforme di rotazione nel, 81 — comparativa apparente importanza del, nel creato, 282 — probabilmente magnetico, 433-434 — comete che fanno parte del, 459 — possibile distruzione ultima del, 462, 463 — computazioni delle comete che vi fanno le loro rivoluzioni, 479-480 — cammini descritti dei corpi celesti nel, 481 — posizione del, relativamente alla Via Lattea, 484 — direzione del suo moto, 510.
Sole, legge che regola la sua attrazione per i corpi celesti, 6 — effetto della sua attrazione sulle orbite planetarie, 10 — media distanza dei pianeti del, 11 — importanza della sua grandezza nel solare sistema, 14-15 — perturbazioni nella relativa posizione dei pianeti, 16 — forza che modifica la sua intensità attrattiva, 18 — resistenza opposta dal, al potere di disturbare le forze, 24 — periodi di congiunzione di Giove, Saturno e il, 31 — influenza del, sopra i moti lunari, 43 — azione dei pianeti riflessa per il, 45 — eclissi del, 50 — costituzione supposta del, 52 — sua atmosfera, *ivi* — modo per ritrovare la sua paralasse, 65, 66 — distanza media

dalla terra, 67 — massa del, 69 — diametro, 70—densità comparativa, 71 — forza attrattiva, *ivi* — tavole astronomiche del, 79, 80 — soluzione della sua rotazione intorno un asse, periodo del, 81 — attrazione del, produttrice una precessione degli equinozi, 98-101 — ritorni del, come misura, del tempo, 103-106 — divisione del tempo, dipendente da rivoluzioni del maggior asse della sua orbita, 106, 107 — azione sulle maree, 114 — disturbatrice dell' equilibrio dell' atmosfera, 149 — le stagioni ascritte e le piovose regolate dal, 152 — causa della diminuita luce e calore nei raggi orizzontali, 195 — distanze del, falsamente stimate, *ivi* — luce polarizzata dal, 243 — indicazione, d' un azione assorbente nell' atmosfera circondante, 264 — suo diametro, 279 — apparenza del, attraverso la sua atmosfera, 280 — variazioni in calore e luce ammessi dal, 280-281 — ammontare del calore annualmente ricevuto sulla terra del, 297 — effetto della sua lucentezza sul calore emesso dal, 323 — sua posizione producente variazioni negli elementi magnetici, 430 — connessione tra la periodica variazione nelle sue macchie e negli elementi magnetici, 431 — vasta estensione della sua forza di gravitazione, 458 — attrazione accresciuta del sole per le comete, 467 — abissi che separano le stelle dal sole, 490 — possibilità di cambiamento nel suo splendore, 495 — macchie del, misurate da G. Herschel, 496 — proporzione della sua luce e quella della luna, 508 — ragione ed orbita di moto col suo sistema, 510 — stella nebulosa, 519— meteora nebulosa, che gira attorno, 532— forza di gravitazione del, 535.

Sole, raggi del, scomposti nei loro colori, 196-206 — legge prevalente nei fenomeni dei, 246 — luce, proprietà distinta della, 266 — risoluta in tre spettri, 277 — ondulazioni costituenti, 278 — loro influenza sulla vegetazione, 311.

Soleil, cristalli compressi da, 234.

Solfato di magnesia, cristalli gradatamente riscaldati nell' alcool, 133.

— di nichello, effetto prodotto dall' esporli ai sole, *ivi*.

— di soda, suoi cristalli, 133.

— di zinco, esperimento sui suoi cristalli, *ivi*.

Solforato, gas idrogeno, parti costituenti, 138.

Solidi, condizioni che riducono le particelle molecolari a, 129 — forme distintive prese dalla materia nei solidi, 131 — velocità del suono per i solidi, 167 — diversità di forma nei corpi sonanti percossi, 187 — espansione pel calore, 339.

Solstizi, movimento solare ai, modifica la durata del tempo, 103 — l'anno contato dall' invernale, 105 — periodica coincidenza del solare perigeo ed apogeo coi solstizi, 107.

Sorgenti calde nelle miniere, 285 — medio calore terrestre determinato dalle, 297.

Sottaico, periodo, degli Egiziani, 105.

Spagna, pioggie meteoriche lungi dalle coste della, vedute, 531.

Spato d' Islanda, 224 — la proprietà di doppia refrazione, *ivi* — raggio polarizzato analizzato con lo, 232 — trasmissione del calorico raggiante, 322 — elettricità emessa dallo, 355.

Specifico, calorico, definito, 344.

Spettro, solare, decomposto nei sette colori, 196 — colori del, modificati dalla grossezza del mezzo assorbente, 197 — decomposti in tre colori, 199 — linee oscure nello, 200 — osservazioni e esperimenti sulle linee oscure nello, 202 — esperimento di luce fluorescente, 244-246 — ottenuto indipendentemente dalla refrazione prismatica, 250 — azione energica dello, sulla materia, 252— immagini colorate fotografiche dello, 258-260 — analisi, proprietà dello, 262-272 — natura complessa dello, 277, 278 — prodotto della luce defratta, 278.

— d' una scintilla elettrica, 362.

— d' un arco voltaico, 381.

— di gas e fiamme, particolarità loro caratteristiche, 202 — tre esperi-

posti, del puro raggio bianco solare, 277.
Spirale, nebulosa, 516.
Stagioni, condizioni determinanti la durata delle, 93 — cause del loro periodo disuguale, 107 — teoria delle tropicali secche e piovose, 152.
State, media temperatura della, variante nella stessa latitudine, 308 — elettricità atmosferica nella, 365.
Statica, elettricità. Vedi *Elettricità*.
Stelle, fisse, il solare sistema probabilmente non indipendente della, 30 — velocità della luce dedotta dall'aberrazione delle, 38 — vasta distanza delle, 68 — precessione che modifica le loro longitudini, 100 — computazioni delle loro posizioni somministranti dati istorici, 109, 110 — fatte visibili per refrazione, 190 — legge peculiare della luce dimostrata dalla aberrazione delle, 251 — grandezza del sistema solare veduto dalle stelle, 282 — numero, classificazione delle, 482 — posizioni, 483 — la Via lattea, 484-485 — parallassi e distanze delle, 486-488 — variabili, 491-496 — spariscono, 496 — sistemi di, multiple binarie, 497, 511. (Vedi *Stelle doppie*) — Nebulose 512, 528 (Vedi *Nebulose*) apparentemente senza numero, 529 — meteore, 529, 534.
Stephenson (Giorgio), citazione da, 350.
Stokes (Prof.) osservazioni sulle gradazioni dei colori, 199 — sperimenti sulla fluorescenza della luce, 245 — sua decisione rispetto alle vibrazioni della luce polarizzata, 279.
Storia, corroborata e corretta dell'Astronomia, 108-109.
Strati della terra, posizione e comparativa densità, 97.
Stratificazioni, sperimenti che dimostrano nella luce elettrica delle, 385.
Struve (Ottone), misura, 60 — osservazioni sugli anelli di Saturno, 85 — occultazione per una cometa, 456 — nucleo d'una cometa descritto, 457 — distanza d'una stella fissa misurata da, 488 — catalogo di stelle doppie, 497 — osservazione sul calore e la luce delle stelle doppie, 505 — moto del sole provato da, 510.
Stutgard, le sorgenti calde naturali usate nelle manifatture vicino a, 288.
Sumbawa, eruzione vulcanica, 291.
Svizzera, meteore cadute, 531.
Suolo, la temperatura dipende dai suoi prodotti, 304.
Suono, mezzo che lo porta, 159 — la sua propagazione illustrata colle ondulazioni, 160 — condizioni modificanti la intensità del, musicali note, 161-162 — esperimenti comprovanti quel che si può udire dall'uomo, 163 — mezzi che modificano la velocità del suono, 165-170 — leggi di sua riflessione nelle superficie, 170 — le ondulazioni del, soggette all'interferenze, 171 — leggi fondamentali per la musica, 171-175 — rinforzato per la risonanza delle cavità, 186 — ricerca ripetute vibrazioni, 220 — modi differenti di agire nelle ondulazioni che producono luce e, 247 — identica natura del calorico e del, 251 — misura della velocità, 364.
South (Giacomo), posizioni di sistemi stellari, 498.
Sykel (Colonnello), cultura estesa del frumento osservata da, 312.

T

Talbot (Fox), sua invenzione in fotografia, 253.
Tangente, nell'orbite planetarie, pianeti spinti nella direzione d'una, 10 — forza perturbatrice nella direzione d'una, 17 — deviazione della tangente, misura della forza centrifuga, 61.
Tangenziale forza, che produce disuguaglianze secolari, 16 — effetti della, 17 — produce la variazione della luna, 43 — forza che agisce sul mare, 124.
— velocità, effetti prodotti dalle modificazioni della, 19 — non diminuita dal mezzo etereo, 27.
Telegrafo, la scoperta elettrica che

condusse all' invenzione del, 405— l' atlantico, 407 — principii della sua costruzione, 409 — data dell' esecuzione, *ivi*.
Telegrafi di terra, principii della loro costruzione, 410.
Telescopio, differenziale, differenza nell'illuminazione determinata dal, 283.
— acromatico, principio di sua costruzione, 204.
— di lord Rosse, nebule scomposte, 517.
Telescopio, cometa, che traversa la costellazione del, 477 — gruppo globulare nel, 522.
Temperatura, la diminuzione in temperatura influisce sulla rotazione della terra, 90 — eccentricità dell' orbita terrestre come causa di decrescimento, 92 — legge che eguaglia, 93 — cangiamenti geologici che modificano la, 94, 95.
— variante nella terrestre atmosfera, zona di costante, 147 — modifica le ondulazioni atmosferiche, 149 — modifica la velocità del suono, 165 — azione chimica della luce influenzata dalla, 271-275 — del mezzo etereo, 284 — strato sotterraneo di costante, *ivi* — ragione dell' aumento nella, sotto la crosta, 284-288 — dell' oceano, 288 — modo di ritrovare la media annua, 299 — cause perturbatrici nella regolare variazione della, 300-306 — variazioni nella stessa latitudine, 308 — influenza della, sulla vegetazione, 309 — modifica la transmissione del calore, 322 — dei corpi solidi, cagionata dall' assorbimento dei raggi, 334 — modifica la lunghezza del pendolo, 339 — cause delle continue variazioni nella, 342 — la transmissione dell'elettricità modificata dalla, 356 — modifica il magnetismo, 441.
Tempo, una misura del moto, 74 — misura del moto angolare, 103 — differenza fra il medio e l'apparente solare, 104 — medio equinoziale, 106 — modo di computarlo, *ivi* — stima del, corretto per leggi di espansione disuguale, 340.
Teneriffa, picco di, venti che prevalgono, 154 — calore lunare, 283 — vegetazione, 312 — flora di, 314.
Teoria delle probabilità, uso delle, nel determinare i dati astronomici, 75.
Termo; elettriche correnti, scoperta, 416 — fenomeni esibiti dalle, 417 — principio delle, applicato a misurare il calore, *ivi*.
Termografia, esempi di, 273-276.
Termometro, principii applicati alla costruzione del, 140 — usato nel determinare l'altezza delle montagne, 147 — la rifrazione varia col termometro, 190 — il calore misurato dal, 344.
Termo moltiplicatore, uso del, negli esperimenti, 329 — principio della sua costruzione, 417.
Terra, influenza della sua forma sull'attrazione, 5 — quadrato della distanza della luna dalla, 6 — forma della, 8 — influenza della luna sulla sua rotazione, 9 — media distanza dal sole 25 (nota) — diametro della, 26 — permanenza di rivoluzione nei suoi tempi e stagioni, 28 — perturbazioni nel medio moto di Venere, 32 — prova del moto della, nell'orbita sua, della sua rotazione, 39 — variazioni nella sua attrazione della luna, 46 — compressione del suo sferoide, 48 — struttura interiore, *ivi* — sua media distanza dal sole 53 — teoretica investigazione della sua forma, 55 — dimensioni della, determinate, 60 — figura della, ritrovata calcolando le sue variazioni in gravitazione, 64 — densità paragonata col sole, 71 — sperimenti che ritrovano la sua media densità in ragione della rivoluzione attorno il suo asse, 74 — la rotazione diurna immutabile, 89 — cangiamenti in temperatura e loro cause, 92 — la natura delle rivoluzioni produce cambiamenti geologici, 96 — congetture spettanti la sua interna struttura, 97 — effetti prodotti dall' attrazione solare e lunare modificante il suo equatore, 99-102 — la sua forma somministra modelli di peso e misura, 110 — rotazione

della terra agente aulle maree, 113 — attrazione della, agente aull' atmosfera solare, 282 — costituzione interiore congetturata, 288 — principii regolatori la diffusione del calore aolare, 296-308 — distribuzione delle conosciute apecie di piante sopra, 311-316 — tensione elettrica posseduta dalla, 364 — linee di forza magnetica derivanti dalla, 426 — proprietà magnetiche della, 427 — effetti della aua collialone con una' cometa, 462 — prosaimo avvicinamento di comete alla, 463 — passaggio di luce dall' α Centauri alla, 487 — teoria delle meteore cadenti sulla, 531-534.

Terremoti nell'America meridionale, 292.

Terre (le), decompoate dalla elettricità voltaica, 386.

Terreatre globo (il) paramagnetico, 420.

— magnetiamo, 428-430 — i tre elementi e le loro variazioni, 430 — tempeste, periodi delle loro variazioni, 431 — aua connessione col solare magnetismo, *ivi* — effetto del magnetiamo atmosferico sul, 432 — probabile casa del, 433 — effetto del magnetiamo planetario aul 434.

— un meridiano definito, 58.

Theta Orionis, il alatema multiplo di, 497.

Thibet, il frumento matura a grande elevatezza nel, 312.

Thomas (San), l'isola di, uragano con pause, 157.

Thomson (W. Prof.), aperimenti aull' acqua che ghiaccia, 339 — dinamica teoria del calore difesa, 344 (nota) — calcolo della forza messa in opera nelle vibrazioni della luce, 349 — inveatigazione nelle relazioni della luce e del magnetismo, 401 — densità del mezzo etereo computata, 446 — proprietà magnetica dell' etere, 448.

Tiomochari, paragone delle aue osservazioni con quelle d' Ipparco, 100.

Tolomeo, decrescimento nell' Inclinazione dell' orbita di Giove dopo i tempi di, 23 — acoperta dell' evezione, 44 — tavole indiane lunari calcolate al auoi tempi, 109 — eroscopo ascritto all' età di, 110 — effetti di rifrazione osservati da, 191 — colore di Sirio al tempo di, 505.

Tomboro, aommersa in un' eruzione vulcanica, 291.

Torpedine, azione elettrica della, 390.

Torricelliano vacuo, sperimento aulla scarica elettrica, 384 — linee di forze magnetiche che passano pel, 431.

Torronto, osservazioni sulle magnetiche tempeste fatte a, 433.

Tramontano, vento, causa del, 302.

Transito di Venere, 67.

— due conaecutivi d'una stella, una misura di tempo, 103.

Transmissione del calorico raggiante, 322 — di elettricità, 356 — di voltaica, 373, la molecolare atruttura la modifica, 380 — metodo di transmissione per determinare l'influenza delle correnti elettriche, 397 — della gravità, questione risoluta, 446 — agente probabile, 447 — mezzo di transmiasione nello apazio, 534, 535.

Traaparenti corpi, temperatura dei, non modificata dai raggi aolari, 284.

Tribù, apertamente distinte della razza umana, 318.

Triple stelle, 497 — periodi di rivoluzioni nelle, 504.

Trombe marine, origine e cauaa, 158.

Tropicale, anno, cangia nella aua lunghezza, 100 — periodo dell', 103 — difficoltà di agglustare la aua durata, 105.

— rivoluzioni dell' asse maggiore dall' ellisse aolare, 106 — auo periodo, 107.

—.vegetazione, loaso della, 310.

Tucano, cometa che si accoata alla costellazione del, 477 — nebulosa in, 522.

— 47 di, gruppo nebuloso globulare, 521.

Tuilleriea, orologio nelle, indicante il tempo decimale, 104.

Tuono, teoria del rumore prolungato del, 170.

Tormalina, bruna, la luce polarizzata

con prismi di, 222 — proprietà che la qualifica atta all'analisi della luce polarizzata, 225 — immagini colorate prodotte dalla, 231 — cangiasi per compressione, 234 — calore polarizzato dalla, 330 — elettricità comunicata dalla, 356.
Tyndal (Prof.) suoi esperimenti provanti la polarità diamegnetica, 436 — sull'azione magnetica nei cristalli, 438.

U

Uccelli, distribuzione di distinte specie, 318.
Uman genere, tribù distinte, dall', 318 — percezioni limitate, 334.
Umidità indispensabile per la vegetazione, 310 — trasmissione dell'elettricità per l', 356.
Unisono, note all', 175.
Uniti, Stati, osservazioni astronomiche fatte negli, 466.
Uragani, origine e causa, 155 — curva descritta del loro asse, *ivi* — loro estensione e velocità, 156 — fenomeni che risultano dal moto rotatorio, 157 — leggi per evitarli, 158.
Uranio, proprietà fosforescente di, 371 — proprietà luminose peculiari, 372.
Urano, effetto di reciproca attrazione tra Nettuno e, 26 — periodi delle rivoluzioni dei satelliti, 41 — distanze del sole, 67 — tavole astronomiche di, 76 — scoperta suggerita dalle sue perturbazioni, 77 — osservazioni su di, conduttrici alla scoperta di Nettuno, 78 — influenza del sole in. 281 — azione di, sulla cometa d'Halley, 455 — apparenza del sole ad, 479 — comete nella sua orbita, *ivi*.
Utah, deserti di, causa dei Muasoni, 153.

V

Vacuo prodotto dalle conchiglie, 145 — esistenze nell'aria, *ivi*.
Valz, telescopico pianeta scoperto, 26 — cometa osservata, 450 — osservazioni sopra l'avvicinamento al sole d'una cometa, 457 — causa assegnata per la contrazione in diametri delle comete, 474, 475.
Vapore, formazione, 339 — forza che converte i liquidi in, 346 — misura della sua elasticità, 348 — dubbio se il suo essere si fondi sulla elettricità, 411.
Variabili stelle, periodiche fluttuazioni di splendore nelle, 491 — nuove, compariscono e scompariscono, 493-496 — perdonsi, 497.
Variabili regioni dei venti, 151.
Vegetazione, effetto della, nell'abbassare la temperatura, 303 — i due requisiti per la, 309, 310 — fortezza e vitalità, 310 — della azione chimica della luce, 311 — leggi della sua distribuzione, 312-314 — della marina, 315 — teorio di specifica diversità di originale distribuzione della, 317.
Vietch (Giscomo), cometa con anello luminoso scoperta da, 470.
Venere, zona d'instabilità tra il sole e, 26 — correlazioni tra il moto medio sulla terra e, 32 — passaggio di, parallasse calcolata di, 66-67 — tavole astronomiche, 80 — clima, 281.
Vergine, congiunzione planetaria tra libbra e, 53 — stella variabile in, 492 — stella composta, 496 — zona nebulosa che passa per, 525.
Vesta, tavole astronomiche, 80 — non ha atmosfera, 282.
Venti, di commercio, 151 — mussoni, 153 — estratropicali nel Nord Atlantico, *ivi* — correnti sopra i venti di commercio, 154 — fenomeni di moto rotatorio, 155 — uragani, 155-157 — azione del, influenti sulla temperatura, 305.
Vesuvio, azione vulcanica ravvivata del, 292.
Vetro, effetto di coesione sulle piastre di, 131 — note musicali tratte dalle verghe e piastre di, 178 — transmissione dell'onde luminose nel, 219 — polarizzante la luce, 229 — polarizzazione elittica, 240 — prodotta dal, 241 — usato in fotografia, 256, 257 — impressioni sul, dei corpi in contatto, 275 — impressioni

. sul, travedute dall'elettricità, *ivi* — transmissione del calorico raggiunte, 322 — per i vetri colorati, 326— la sua temperatura alterata dal magnetismo, 442.
Via Lattea descritta, 484—G. Herschel descrizione di, *ivi* — sacchi di carbone, 485 — stelle componenti, 488 — zona di stelle attraversante, 490 — posizione di stelle variabili rispetto alla, 496 — ammassate nella, solo apparentemente, 510 — orbita nel piano della, 512 — rapporto della, all'universo stellare, *ivi* — somiglia ad una nebulosa, 516 — suoi quarti di cielo, 522 — divide il sistema delle nebulose, 525 — grande nebulosa, 527 — ramificazioni lontane della, 528.
Vibranti piastre usate negli esperimenti sul suono musicale, 180-182.
Vibrazioni dell'aria che producono suono, 159 — nella musica, 162 — numero di, fatto dalla voce umana in un secondo, 163, 164.
— dell'etere nella luce naturale e polarizzata, 240 — nella fluorescenza della luce, 244 — piano delle, nella luce polarizzata, 279.
Vico De (padre), cometa scoperta, 465.
Vienna, osservazioni sopra una cometa, fatte a, 465.
Vincenzo, (San), ravvivamento d'una estinta vulcano a, 292.
Virginia, immagine daguerrotipa dello spettro solare in, 265.
Viti, ordine di coltivazione delle migliori, 313.
Viviers, transito d'una cometa a traverso il sole osservata a, 469.
Volta (Prof.), elettricità resa maneggiabile, 373 — debito del mondo a, 410, 411.
Voltaica elettricità, prima suggestione di, 372 — teoria della transmissione della, 374 — costruzione della batteria, 374, 375 — teoria della sua produzione, 377 — caratteristiche proprietà, 378 — azione della, generante calore e luce, 379 — arco, sperimenti, 381 — scarica che ossida l'argento, 383 — luce stratificata, 385 — chimica decomposizione effettuata dall'azione della, *ivi* — cristallizzazione, 387 — agente nell'arti belle, 388 — conduttori della, *ivi* — relazioni del calore e, 389 — pesci che producono effetti di, 390 — scienza suggerita dalla sua influenza su d'un ago magnetizzato, 391 — rotazione prodotta dalla, 392 — induce magnetismo, 394 — distinzione tra la statica elettricità e la, 396, 397 — forza binaria invariabile della, 418.
Voltaica, pila, la invenzione, 372 — perfezionata, 374-376.
Vortici, molecolari, teoria dei, 129.
Vosgi, montagne de', temperatura delle miniere nelle, 285.
Vulcaniche regioni del globo, 290 — annue e celebri eruzioni, 291 — terremoti cagionati dalle supposte cause d'azione, 292 — teoria di G. Herschel, 293-295.
Vulpecula, nebulosa nella, 515.

W

Wardhus, passaggio di Venere osservato a, 67.
Waterston, magnetica proprietà del mezzo etereo difesa da, 448.
Wedgwood (Dottor), tentativi per ritrarre gli oggetti colla luce, 253.
Welsh, osservazioni fatte in una ascensione in pallone, 147.
Wheatstone (Prof.), sperimenti in acustica di, 163 — strumenti musicali inventati, 177 — memoria letta sulle vibrazioni musicali, 180 — sperimenti sulle tavole armoniche, 186 — sperimenti sul suono rinforzato da risonanza, *ivi* — strumenti misuratori della velocità dell'elettricità e della luce inventati da, 251 — spettro d'una scintilla elettrica osservato, 362 — velocità misurata dall'elettricità, 363 — sperimenti sullo spettro della fiamma voltaica, 280.
Willis, macchina che articola i suoni, inventata da, 188 — investigazioni di, nel meccanismo della laringe, *ivi*.
Wolf (Prof.), periodi di variazioni nel calore solare calcolato da, 280.

Wollaston (Dottor), aperienze sul sentire il suono fatte da, 162 — aperienze a mostrare l'effetto di mezzi variabili sulla rifrazione, 193 — scoperta delle linee oscure nello spettro solare, 201 — osservazioni sulle proprietà chimiche, 252-260 — magnetica rotazione suggerita da, 392 — luce emessa dai corpi celesti calcolata da, 509.

X

Xi, Orsa maggiore dell', tempo periodico di velocità della rivoluzione in, 504, 506.

Y

Young (Dottor), calcolo della possibile compressione dei solidi, 98 — dati d'un oroscopo determinato dal 110 — densità d'una colonna liquida, 141 — eccezione per una legge generale in acustica, 169 — teoria sul piaceri dell'armonia, 176 — teoria ondulatoria stabilita, 209 — dati usati a provare la sua teoria della luce, 217 — illustrazione, di, provante che il suono e il calore sono forze affini, 351.

Z

Zampogna, flauto, vibrazioni che passano nell'aria, 176.

Zeta del Cancro, stella tripla, 497 — tempo periodico, 498 — rivoluzione colori, 498.

— di Ercole tempo periodico ed eclisse, 501 — luce, 505.

Zinco, seleniato di, effetto di temperatura sui suoi cristalli, 133 — solfato di, cristalli bolliti nell'alcool, *ivi*.

— elettricità comunicata alle piastre di, 274.

Zodiaco, segni del, cangiamenti nella posizione, 100.

Zona, di costante temperatura nell'atmosfera, 147 — leggi delle tempeste nella temperata e torrida, 158 — delle macchie sulla superficie del sole, 279 — loro larghezza, *ivi* — della costante temperatura sotto la crosta della terra, 285 — comparativa disuguale distribuzione di terra nella temperata e torrida, 305 — di stelle fisse, 483 — di stelle le più vicine al sole, 490 — nebulosa, 525 — pezzi nebulosi, 526 — nebulose meteoriche, 532.

Zone d'instabilità, dell'orbite planetarie, 25.

— di temperatura nell'Oceano, 125.

— di vegetazione sul Picco di Teneriffa, 312.

Zoofiti, distribuzione specifica, 317, 318.

FINE.

SBN 608714

Biblioteca Nazionale V. E. III. NAPOLI